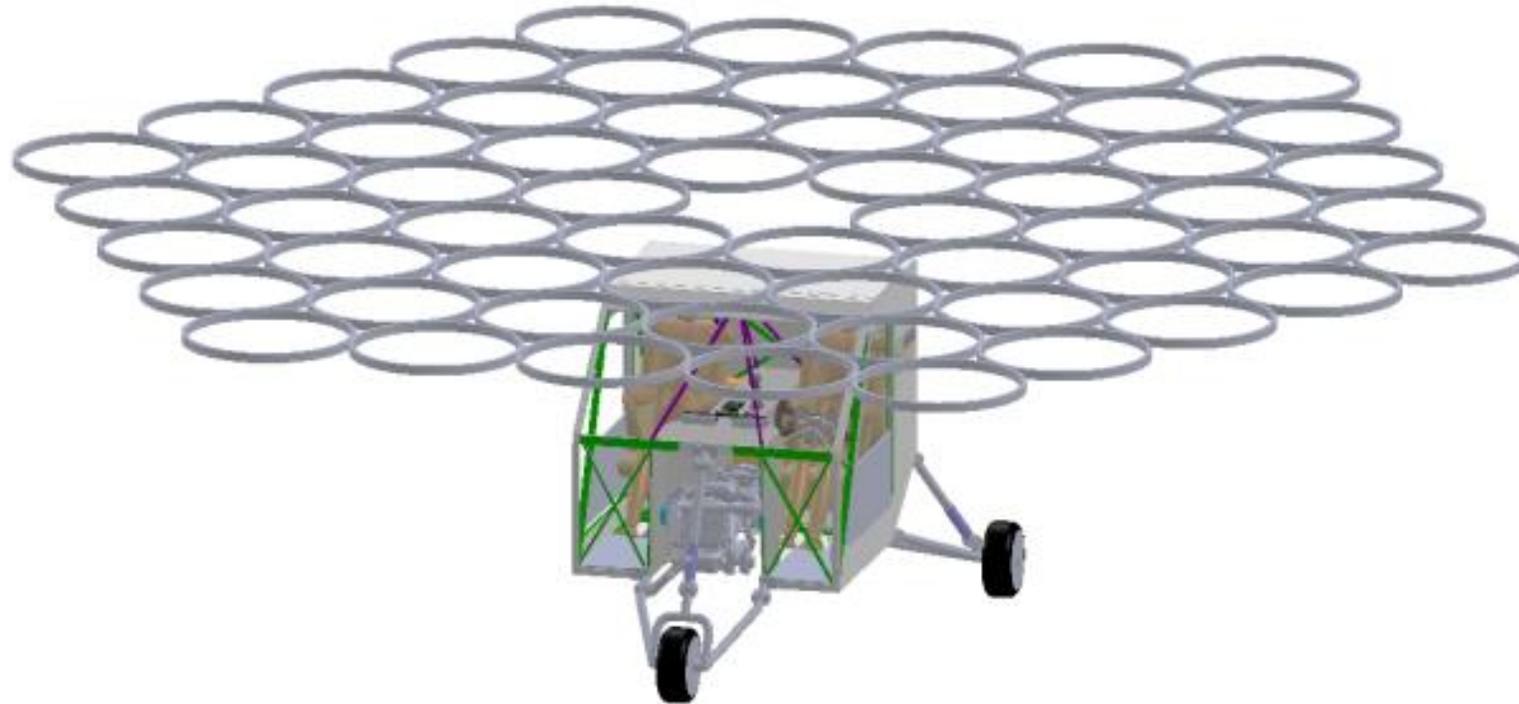


# Ecole Centrale de Lille

## Projet G1-G2

# Revue de projet VTOL Hybride Mini-Bee TRL4

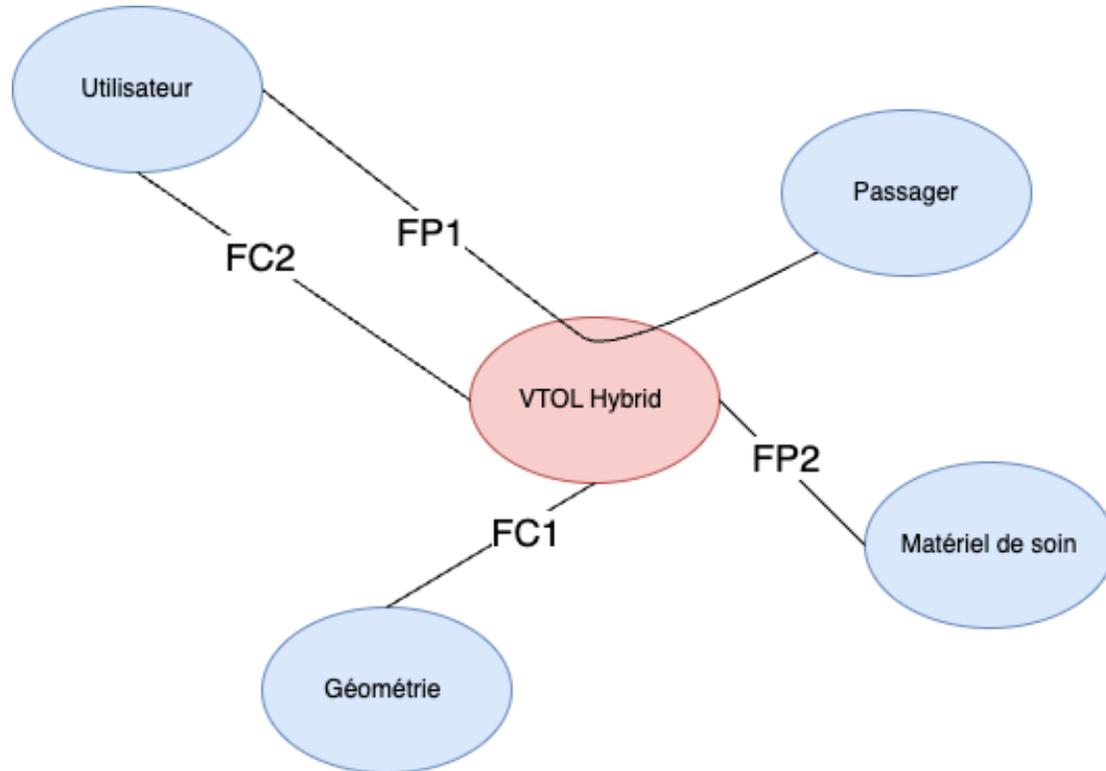


# Agenda / Sommaire

**Prochaine réunion : 14/05 matin/midi avec tuteurs ? Sinon mercredi 15 mai 21h**

- 1) Présentation du projet
- 2) Gestion de projet
- 3) Revue technique
  1. Pôle Structure
  2. Pôle Electronique de puissance
  3. Pôle Capteurs

# Analyse fonctionnelle



FP1	Transporter rapidement 2 individus
FP2	Transporter du matériel médical
FC1	Se ranger dans un container adapté
FC2	Avoir une prise en main rapide pour le pilote

# Trombinoscope



Victor Daviaud  
*Responsable Structure*



Bastien Devaux  
*Structure*



Martin Koebel  
***Chef de projet /***  
*Responsable*  
*Electronique de Puissance*



Noah Lafay  
*Electronique de*  
*Puissance*



Nathan Garcenot  
*Responsable*  
*Capteurs*



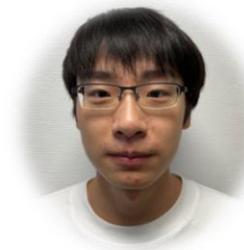
Maxime Carrazé  
*Capteurs*



Samuel Pierrot  
*Structure*



Alexandre Nanni  
*Structure*



Junhao Yang  
*Electronique de*  
*Puissance*



Thibaud Julien  
*Electronique de*  
*puissance*



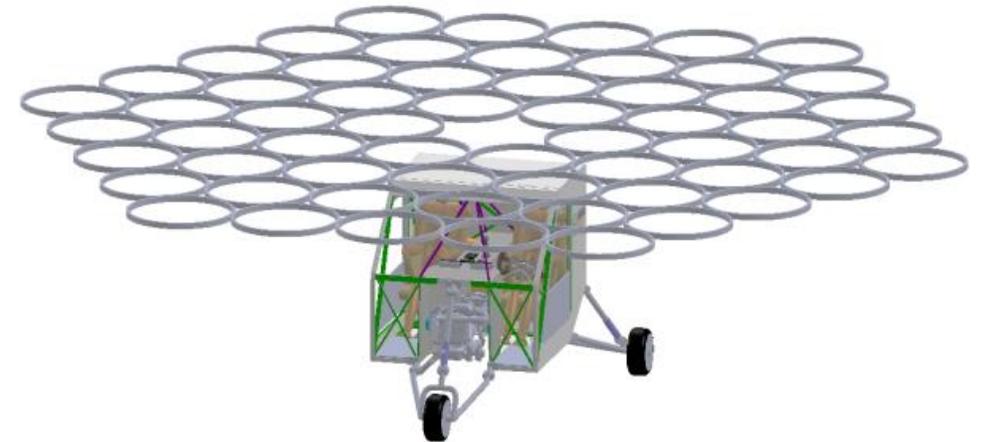
Clément Cadoret  
*Capteurs*



Léo Oudart  
*Capteurs*

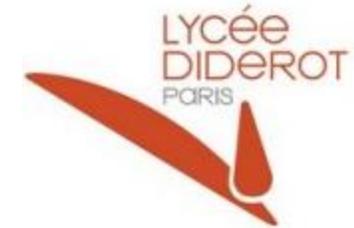
# Présentation projet

- Hélicoptère biplace de transport médical
- Caractéristiques générales
  - 2 passagers
  - 60 rotors
  - Supercondensateurs
  - Vitesse de croisière : 170 km/h (47,2 m/s)
  - Vitesse verticale : 3,89 (m/s)
  - 700-800 kg poids maximal de décollage
  - 100 kW de puissance



# Présentation projet

- Projet collaboratif avec différentes écoles



- Projet mené par l'entreprise Technoplane

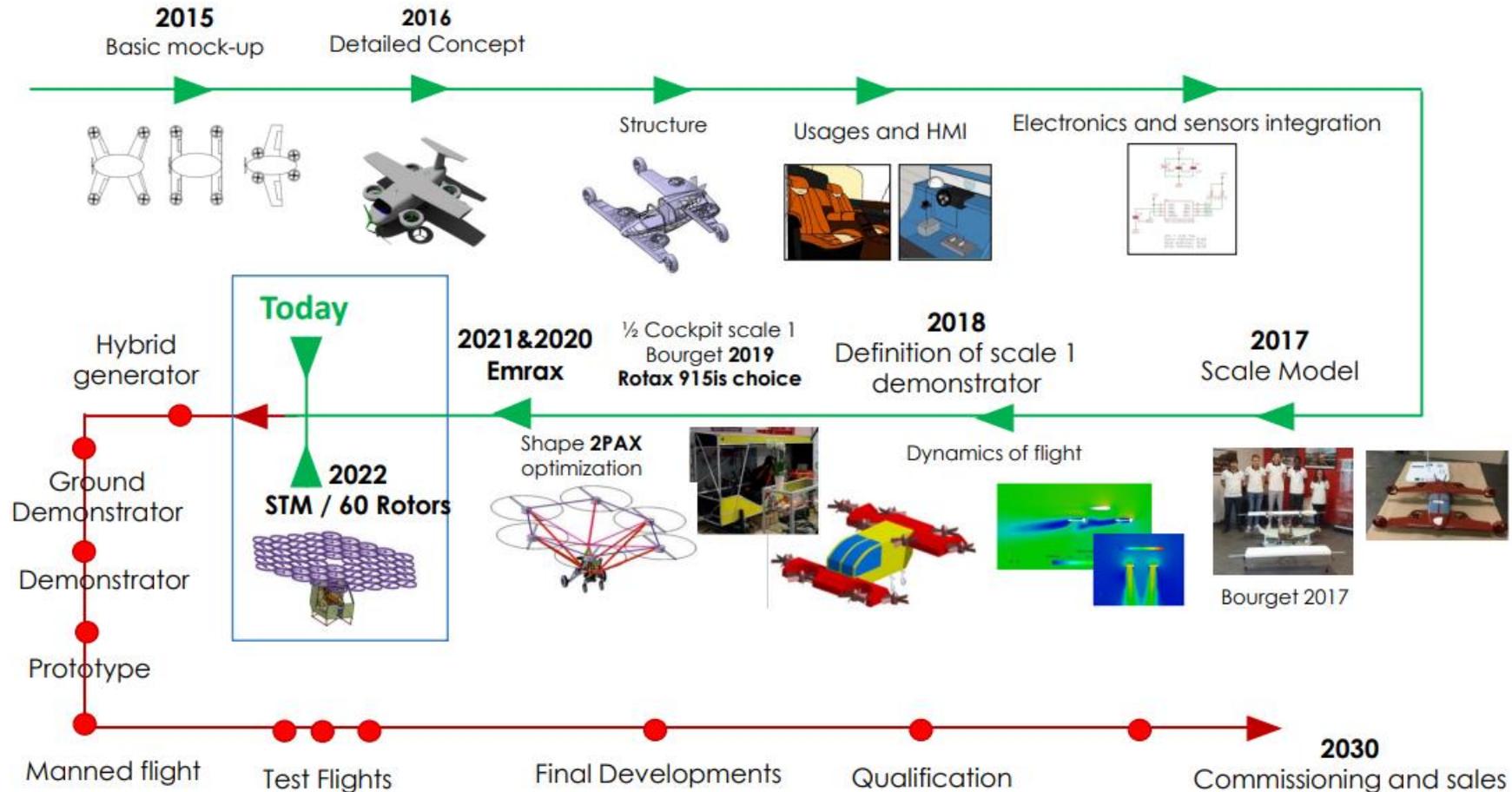
- Lancement en 2015

- Avancées successives jusqu'au TRL4

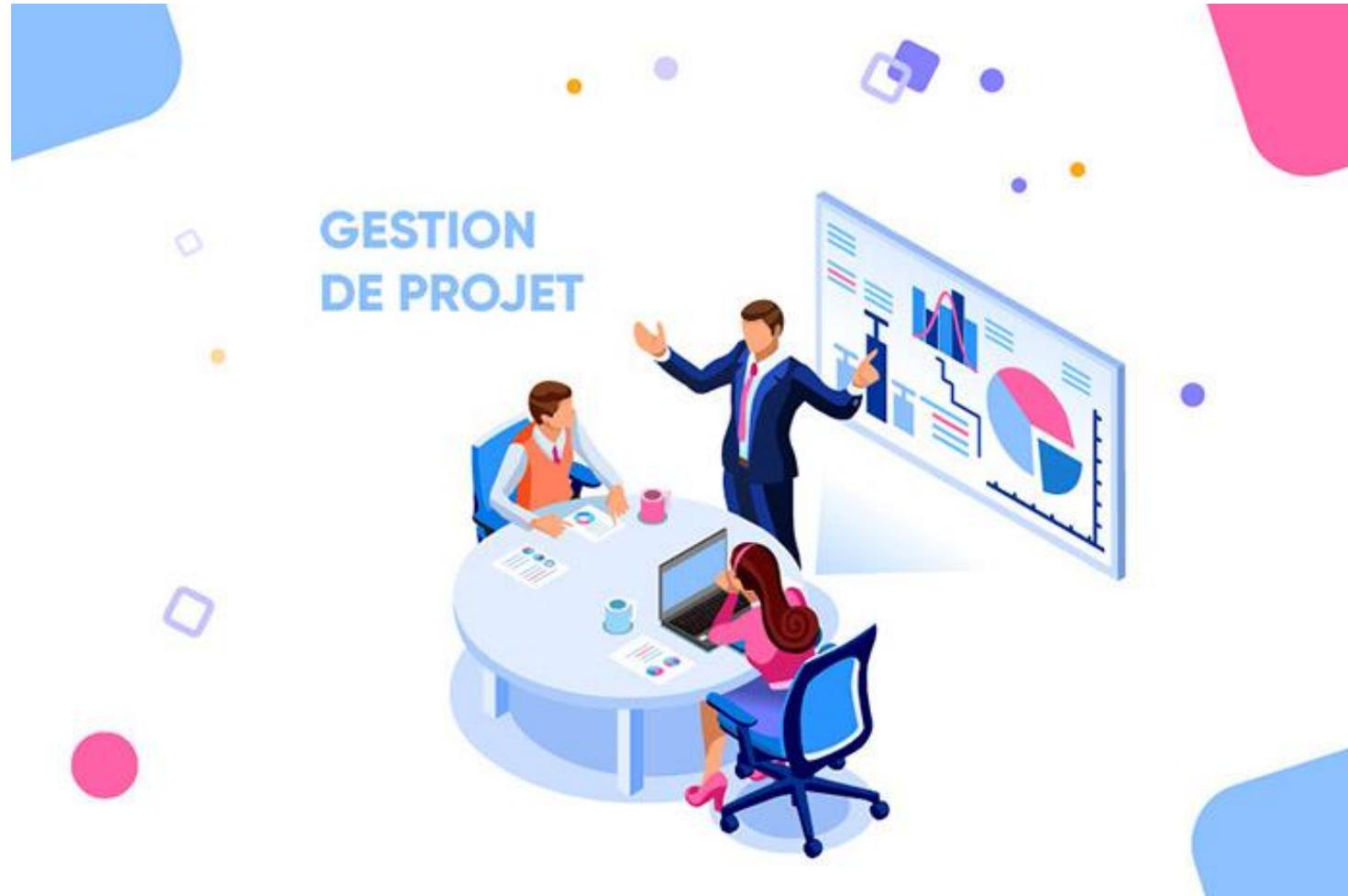
- Professeurs encadrants : M. Abdelkader EL KAMEL et M. Khaled MESGHOUNI

# État du projet

- Phase TRL-4 : Validation des fonctions clés du concept en laboratoire



## 2) Gestion de projet



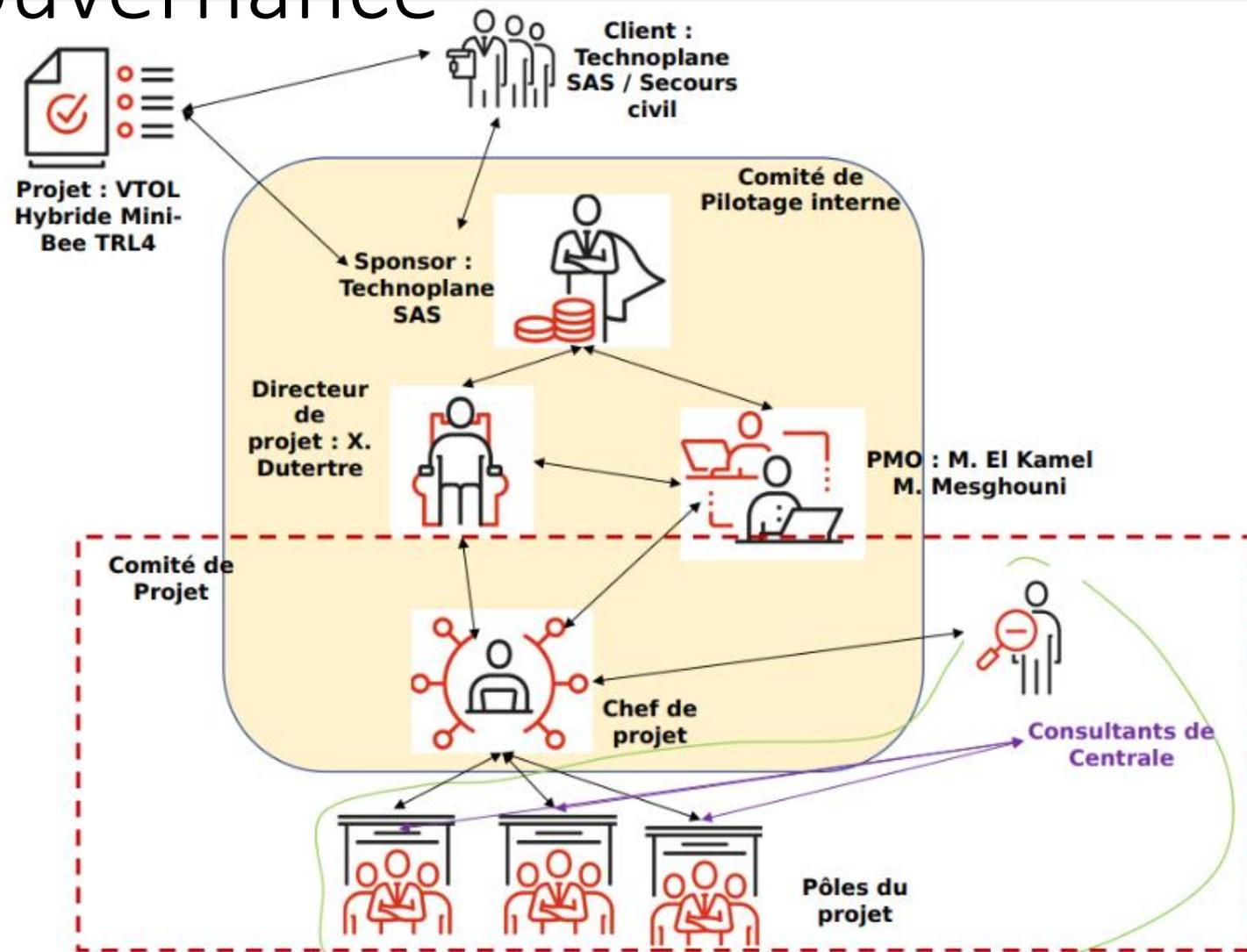
# Matrice SWOT du Mini-Bee

	En faveur du projet	En défaveur du projet
Interne	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ La configuration du Mini-Bee permet son transport et son déploiement rapide dans de nombreux scénarios d'urgence à l'étranger</li> <li>○ Le pilote peut prendre en charge un patient pendant le vol grâce au contrôle à une main et la possibilité de transporter deux personnes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ La participation au projet de nombreuses écoles signifie que les acteurs ne sont pas concentrés uniquement sur ce projet</li> <li>○ La géométrie du Mini-Bee liée à la nécessité de pouvoir être transporté par conteneur signifie des contraintes supplémentaires sur la structure de l'aéronef</li> </ul>
Externe	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Traffic routier toujours plus dense rendant le Mini-Bee d'autant plus intéressant pour le transport de blessés</li> <li>○ Hausse de la démographie en milieu rural, milieu soumis à des déserts hospitaliers où l'intérêt de la rapidité du Mini-Bee en cas d'urgence est tout trouvé</li> <li>○ Le déploiement du Mini-Bee est prévu pour tenir dans deux conteneurs LD3 (transportable dans une soute d'avion moyen-courrier civil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Des concepts similaires sont déjà déployés dans des scénarios différents ce qui crée une concurrence dans le domaine</li> </ul>

# Matrice SWOT du projet

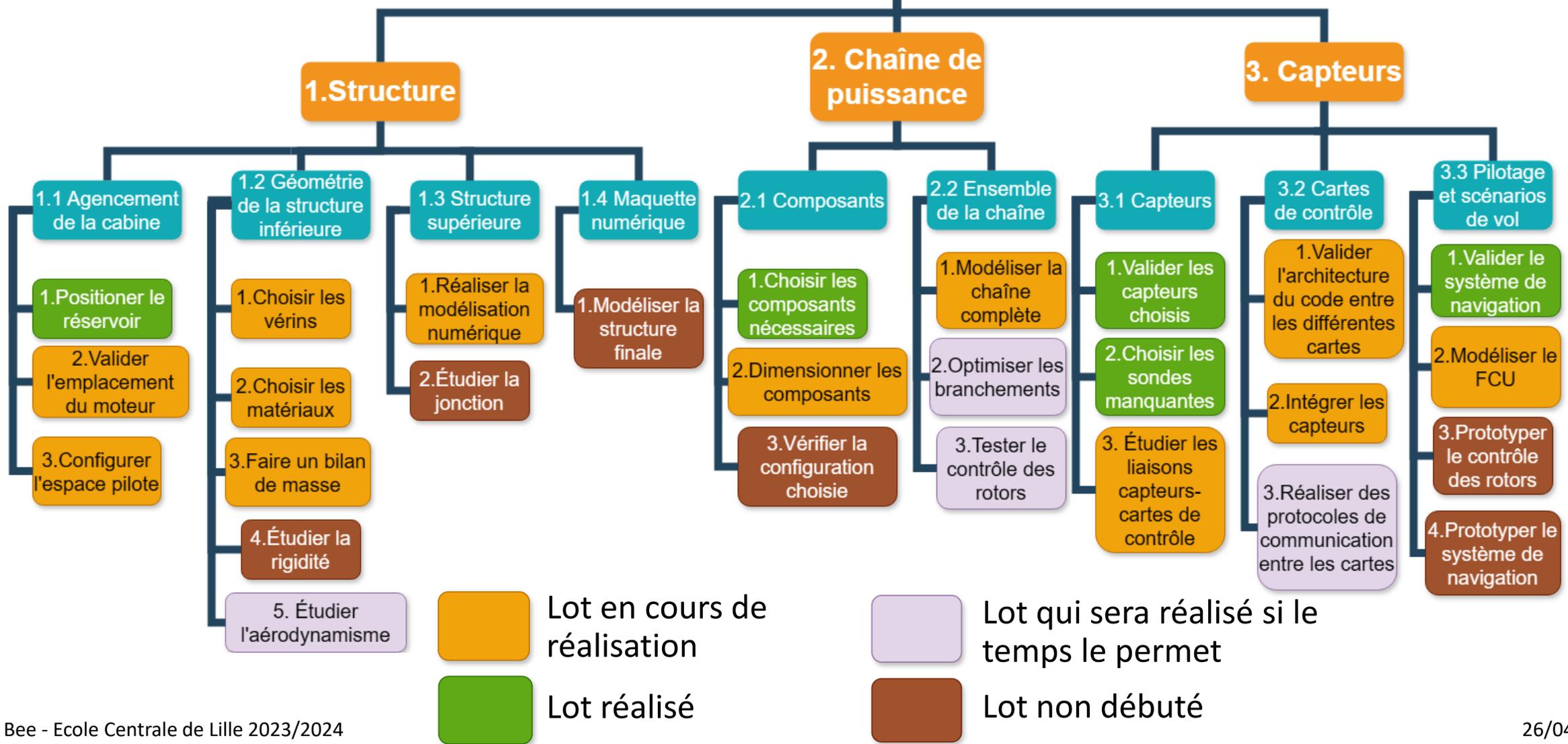
	En faveur du projet	En défaveur du projet
Interne	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Communication facile et honnête au sein du groupe</b></li> <li>○ <b>Membres répartis dans chacun des pôles selon leurs préférences stimulant leur motivation</b></li> <li>○ <b>Compétences techniques adaptées au projet avec de nombreux membres de filières PT et PSI</b></li> <li>○ <b>Communication très régulière et transparente avec le client Xavier Dutertre</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Communication faible avec les autres écoles. Nécessité d'augmenter la régularité de ces échanges</b></li> <li>○ <b>Faible confiance en certains résultats avancés par d'autres écoles. Il nous faut les vérifier pour nous baser dessus</b></li> </ul>
Externe	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Le travail avec de nombreuses écoles permet et de diversifier les points de vue et les solutions proposés</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>De très nombreuses écoles travaillent sur le projet ainsi chercher certaines informations est chronophage</b></li> <li>○ <b>Le projet est pris en cours de route il y a donc un grand travail de compréhension précise du sujet à effectuer</b></li> </ul>

# Schéma de gouvernance



# WBS

## Projet Mini-Bee



Lot en cours de réalisation

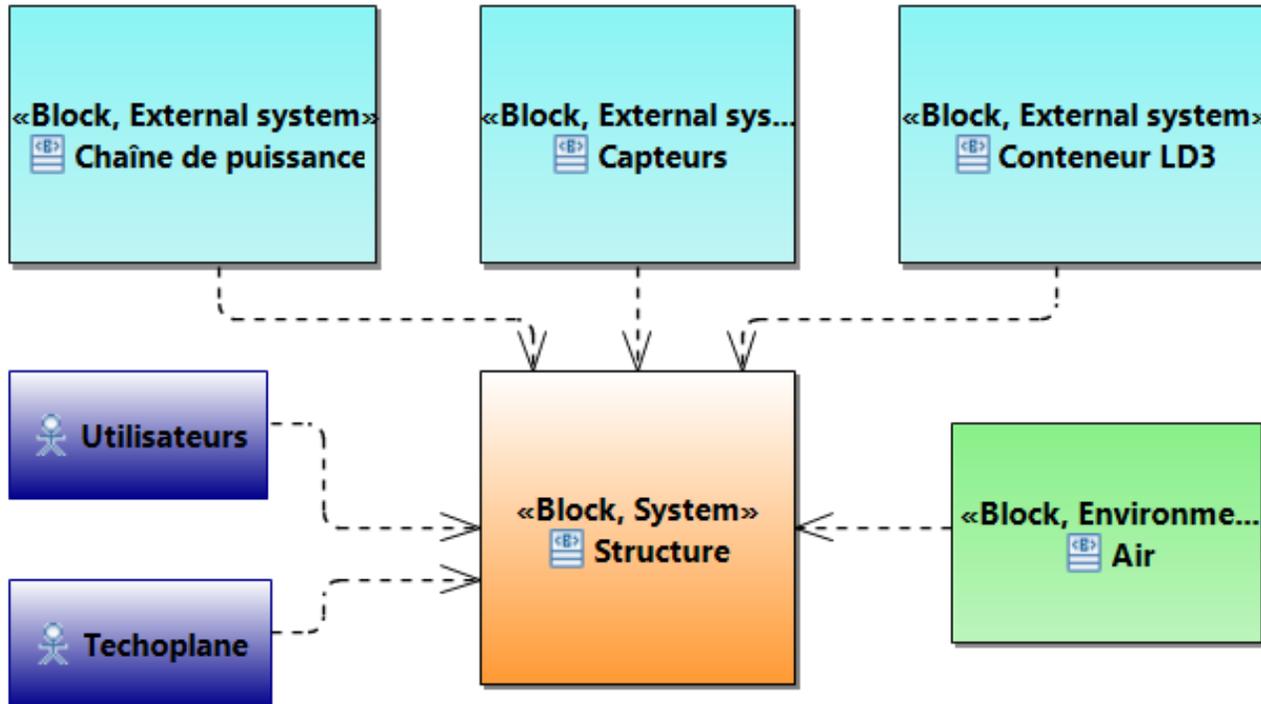
Lot réalisé

Lot qui sera réalisé si le temps le permet

Lot non débuté

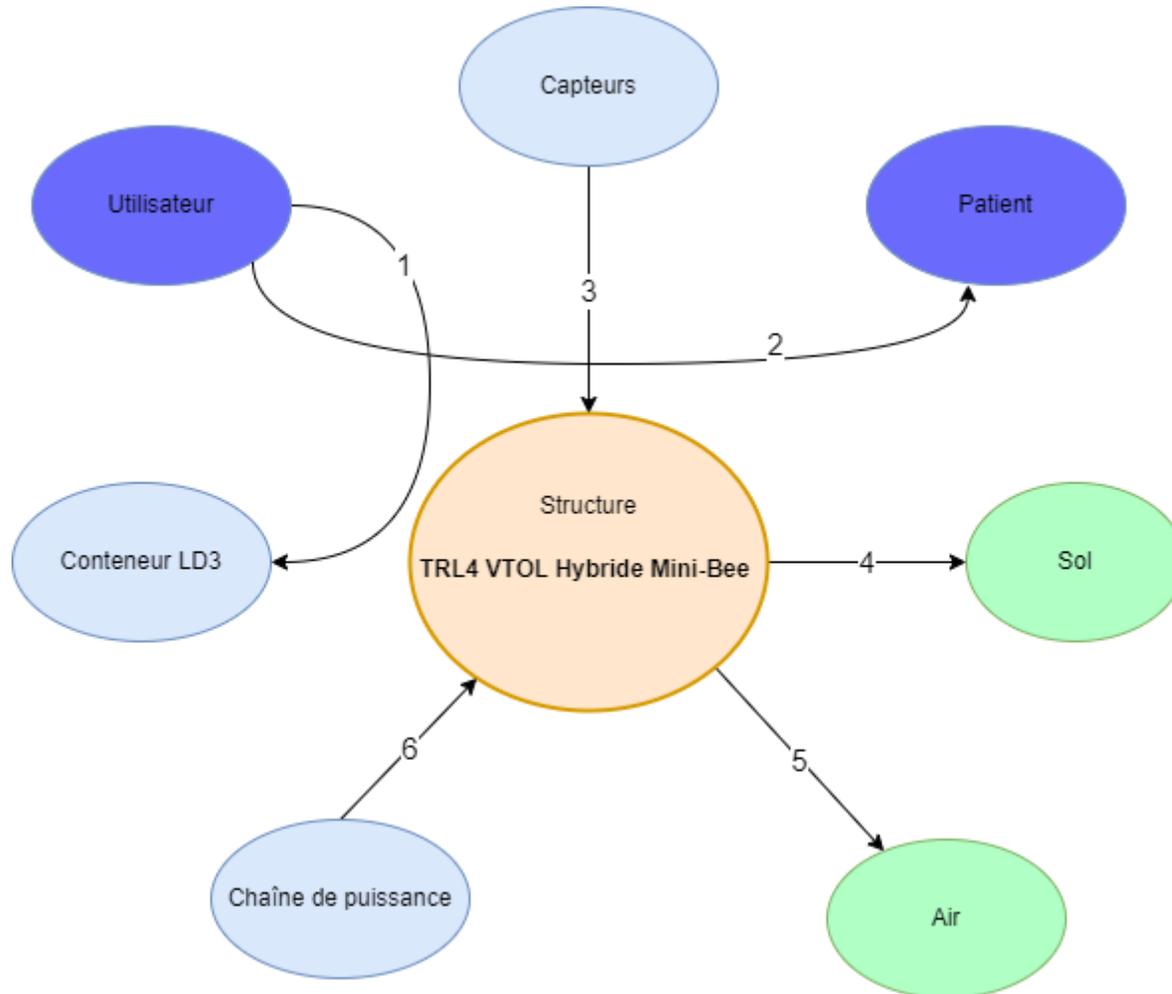
# 1. Pôle Structure

# Diagramme de Contexte



Éléments externes	Description
Utilisateurs	Pilote + Passager
Technoplane	Fabricant du VTOL Hybrid
Air	Source de frottement fluide
Conteneur LD3	Conteneur permettant de déplacer le système
Chaîne de puissance	Ensemble qui permet au système de se déplacer
Capteurs	Equipements permettant de récolter les informations nécessaires au système

# Analyse fonctionnelle



FP1	La structure peut contenir à la fois l'utilisateur et le blessé
FC1	La structure doit pouvoir être contenue et transportée dans un conteneur LD3
FC2	La structure doit pouvoir contenir les capteurs
FC3	Sa structure doit pouvoir permettre un atterrissage sur le sol
FC4	La structure doit faire face aux frottements de l'air
FC	La structure doit pouvoir intégrer la chaîne de puissance

# Exigences

<b>Id</b>	<b>Description</b>	<b>Acteur émetteur</b>
1	La structure supérieure doit être démontable	Client
2	Le Mini-Bee sans sa structure supérieure doit être transportable dans le conteneur LD3	Client
3	Le moteur doit pouvoir être accessible pour de la maintenance	Client
4	Le Mini-Bee doit pouvoir accueillir deux personnes et du matériel médical	Client
5	Le Mini-Bee doit peser moins de 700kg MTOW	Client

# Objectifs

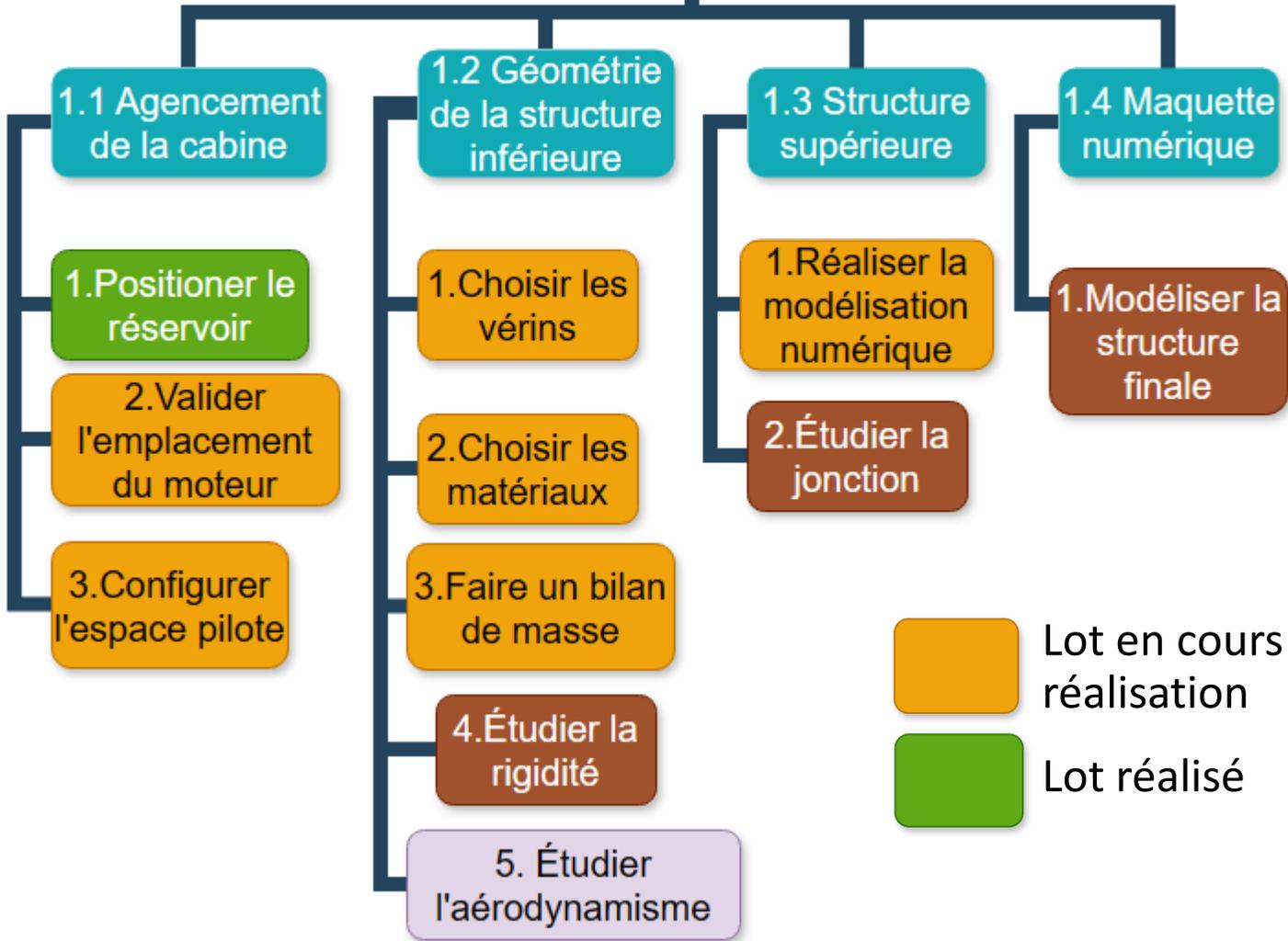
- Valider l'agencement de la cabine
- Définir complètement la structure inférieure
- Définir l'intégration du moteur dans la structure
- Valider la structure supérieure
- Définir la jonction avec la structure inférieure

# Livrables finaux

- Synthétiser les données techniques et le cahier des charges de l'appareil
- Réaliser une maquette numérique complète

# WBS

## 1. Structure



Lot en cours de réalisation  
 Lot réalisé

Lot qui sera réalisé si le temps le permet  
 Lot non débuté

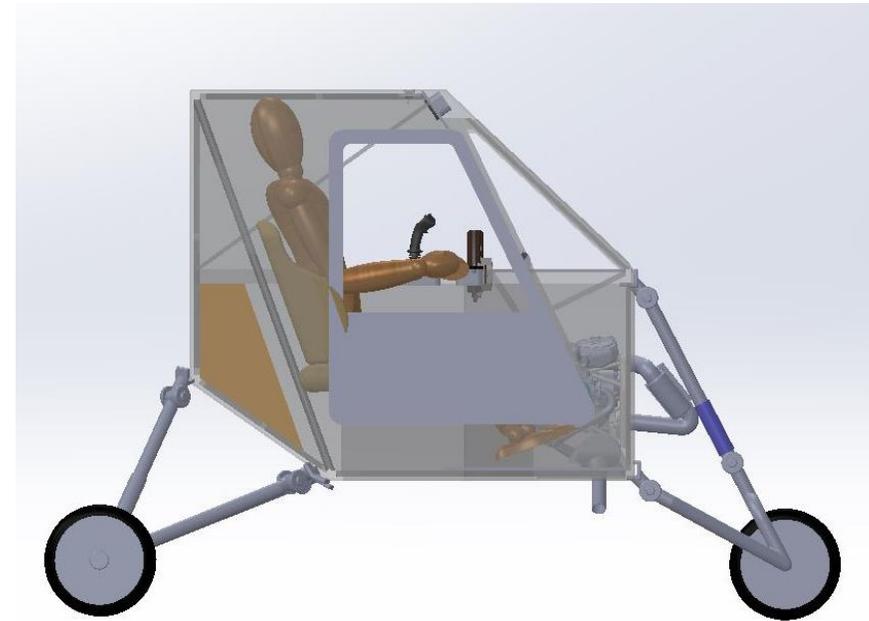
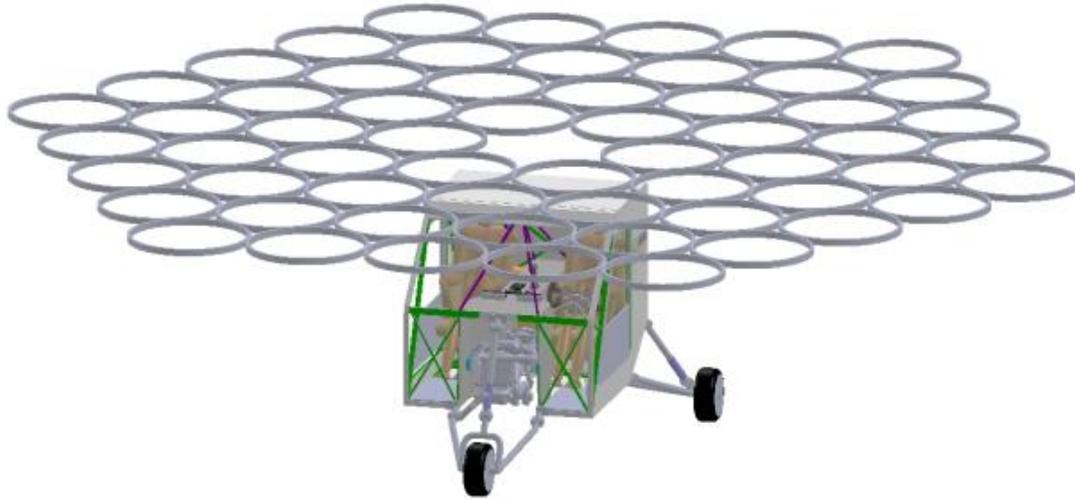
# Matrice RACI

Tâches	Description	B.D	A.N	S.P	V.D	N.G	M.K	M.C	X.D	K.M	A.EK
1.1 Agencement de la cabine	1.1.1 Position du réservoir	I	R	I	I	I	I	I	A/C	C	C
	1.1.2 Emplacement du moteur	I	I	R	I	I	I	I	A/C	C	C
	1.1.3 Espace pilote	I	R	I	I	I	I	I	A/C	C	C
1.2 Géométrie de la structure inférieure	1.2.1 Choix des vérins	R	I	I	I	I	I	I	A/C	C	C
	1.2.2 Étude de rigidité	I	I	R	R	I	I	I	A/C	C	C
	1.2.3 Choix des matériaux	I	I	I	R	I	I	I	A/C	C	C
	1.2.4 Aérodynamisme	R	I	I	I	I	I	I	A/C	C	C
	1.2.5 Bilan de masse	I	R	I	I	I	I	I	A/C	C	C
1.3 Structure supérieure	1.3.1 Étude de la jonction	I	I	R	I	I	I	I	A/C	C	C
	1.3.2 Modélisation numérique	I	I	R	I	I	I	I	A/C	C	C
1.4 Maquette numérique	1.4.1 Choix du logiciel	I	R	I	R	I	I	I	A/C	C	C
	1.4.2 Modéliser la structure finale	R	R	R	I	I	I	I	A/C	C	C

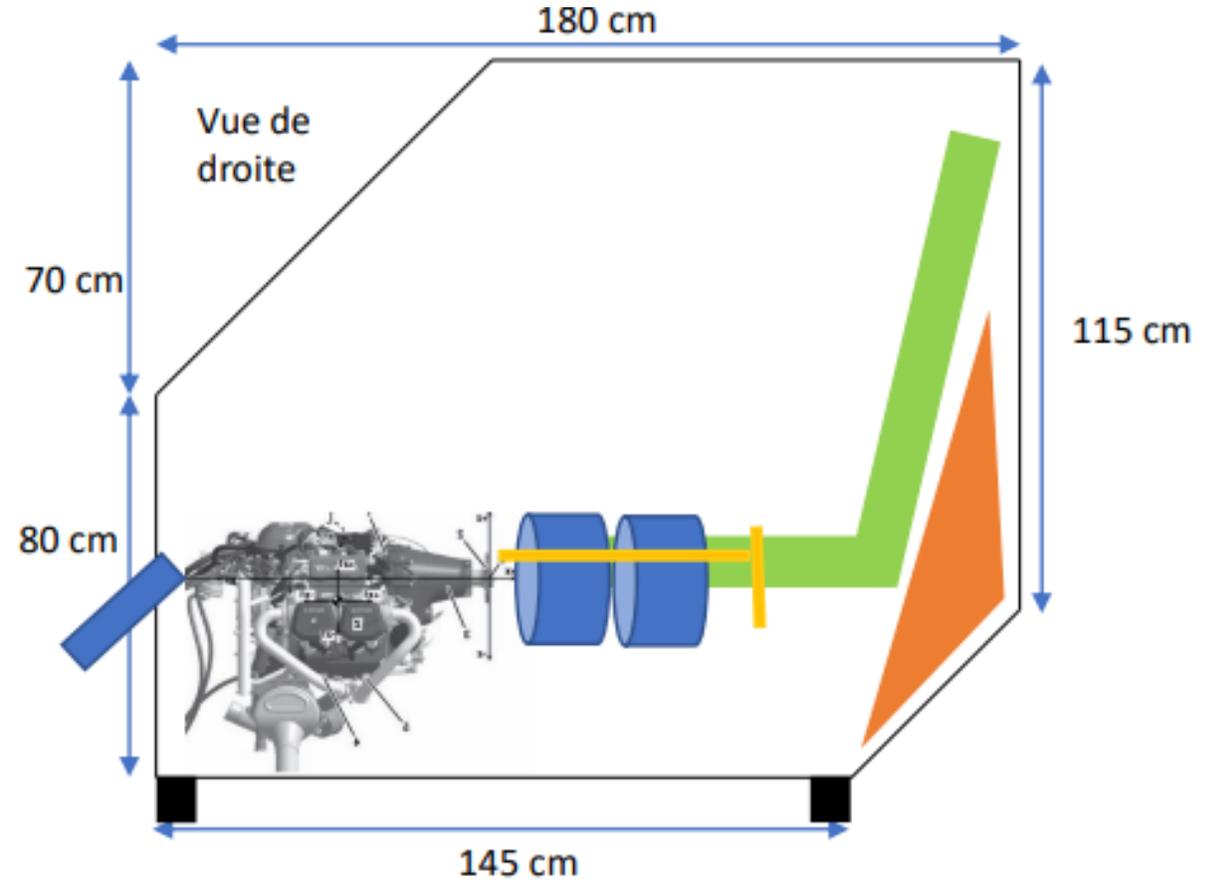
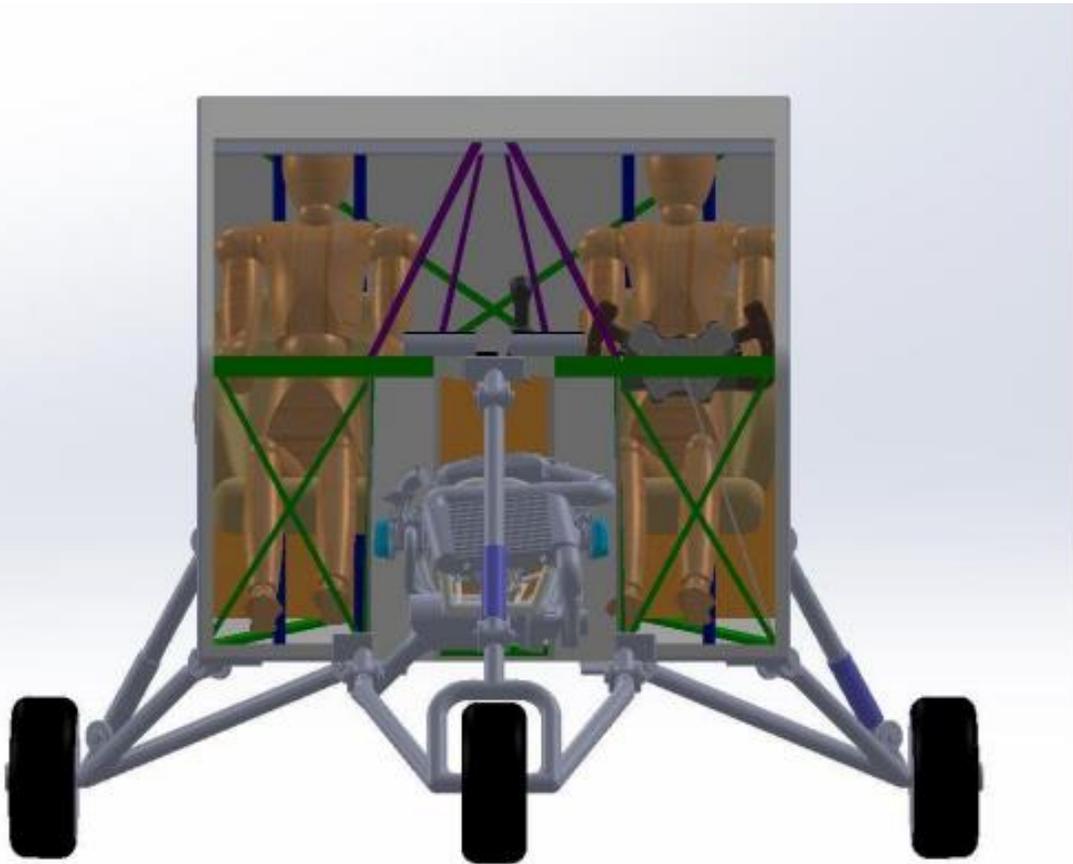
B.D : Bastien Devaux  
A.N : Alexandre Nanni  
S.P : Samuel Pierrot  
V.D : Victor DAVIAUD  
N.G : Nathan GARCENOT  
M.K : Martin KOEBEL  
M.C : Maxime CARRAZE  
X.D : Xavier DUTERTRE  
K.M : Khaled MESGHOUNI  
A.EK : Abdelkader EL KAMEL

R	Réalisateur
A	Autorité
C	Consulté
I	Informé

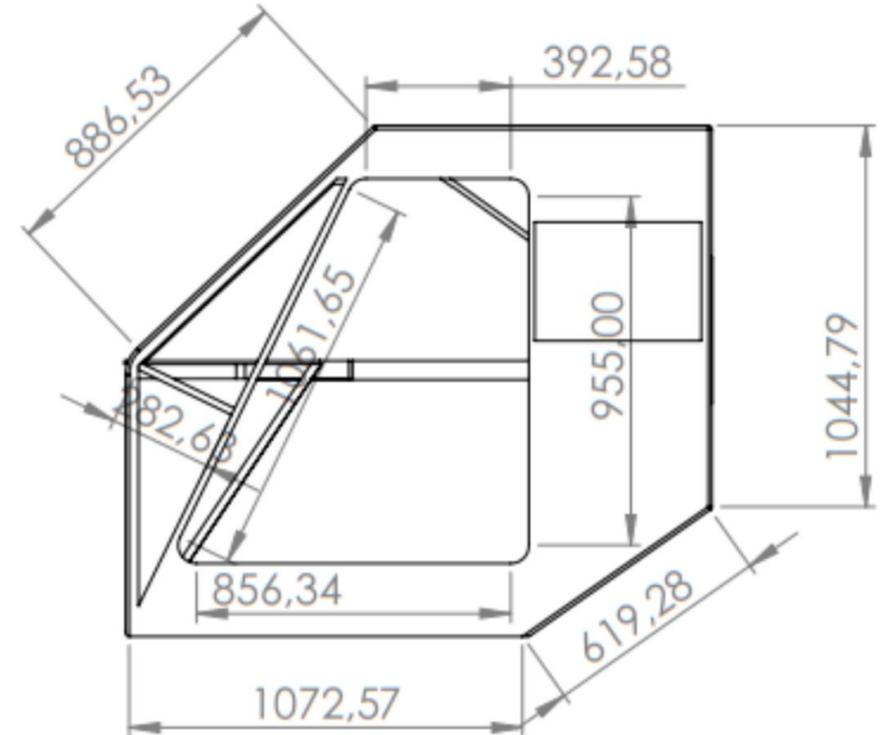
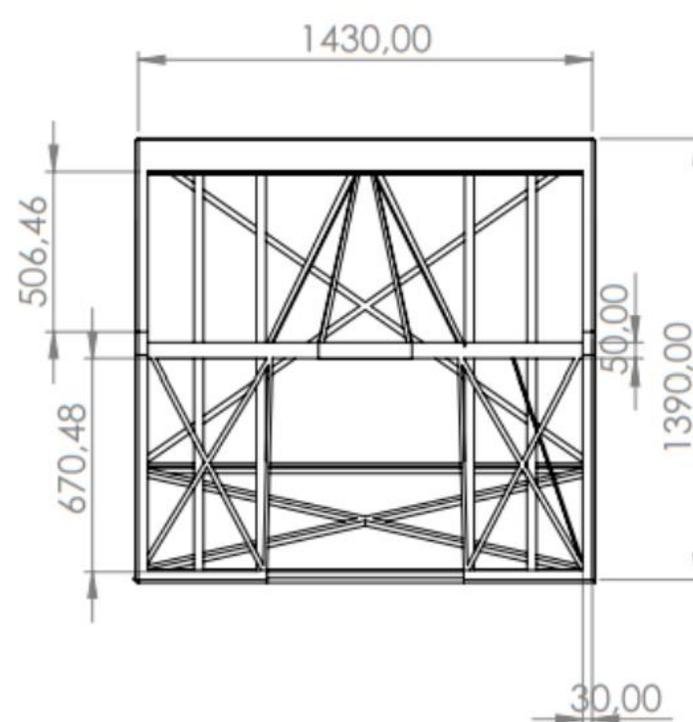
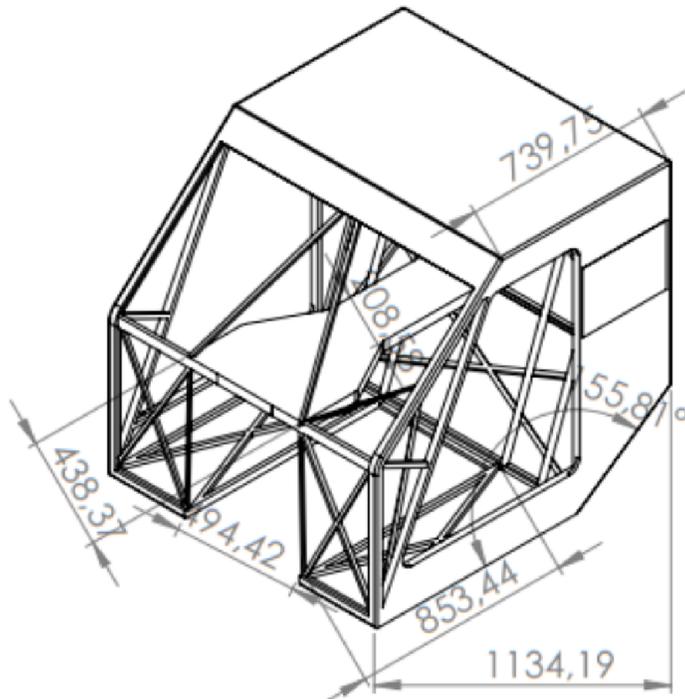
# État de l'art STRUCTURE



# État de l'art STRUCTURE

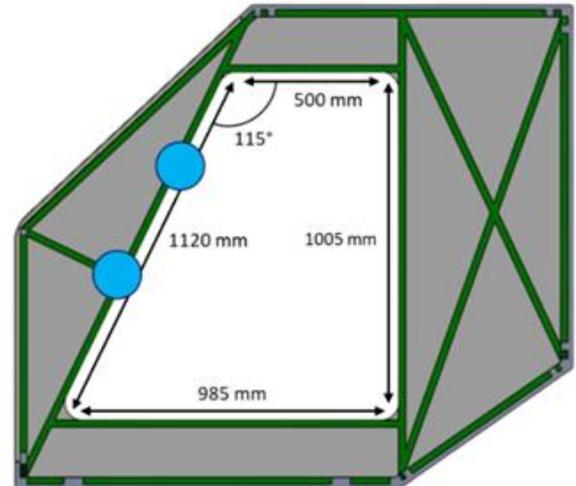
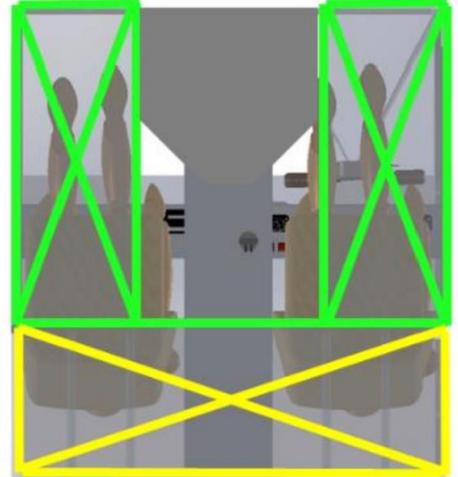
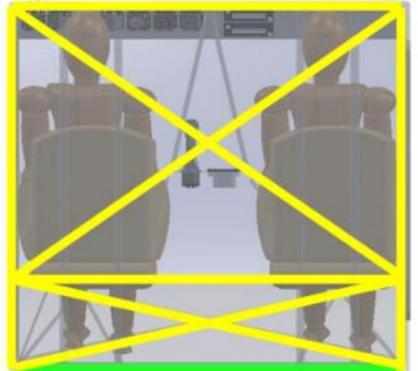
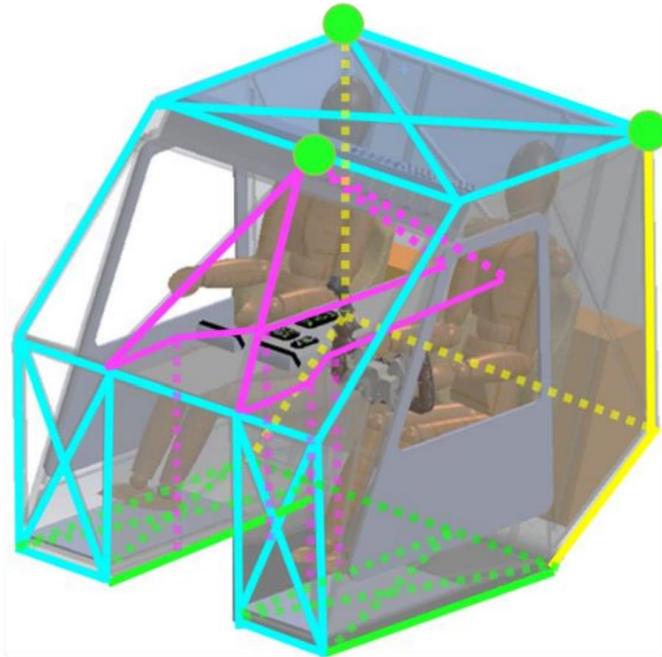
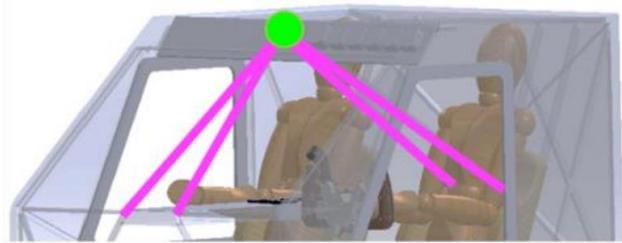
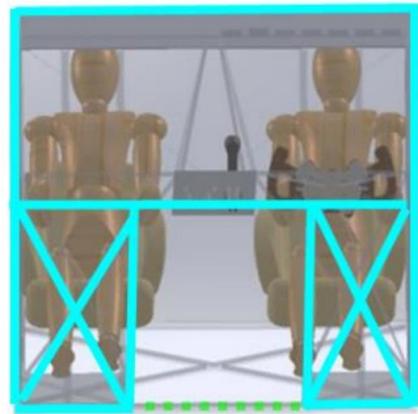


# Dimensions

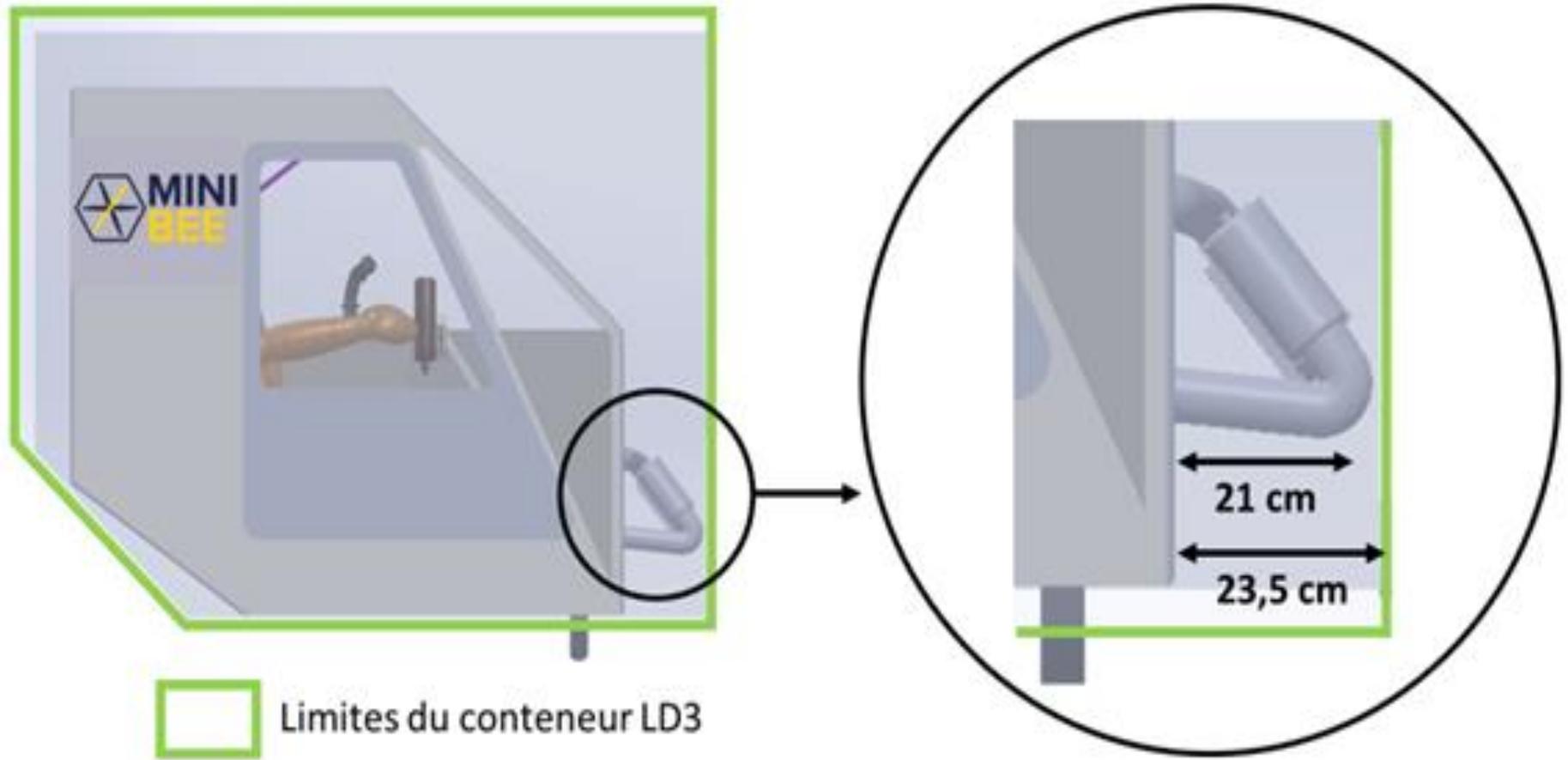


# État de l'art STRUCTURE

Position actuelle des renforts



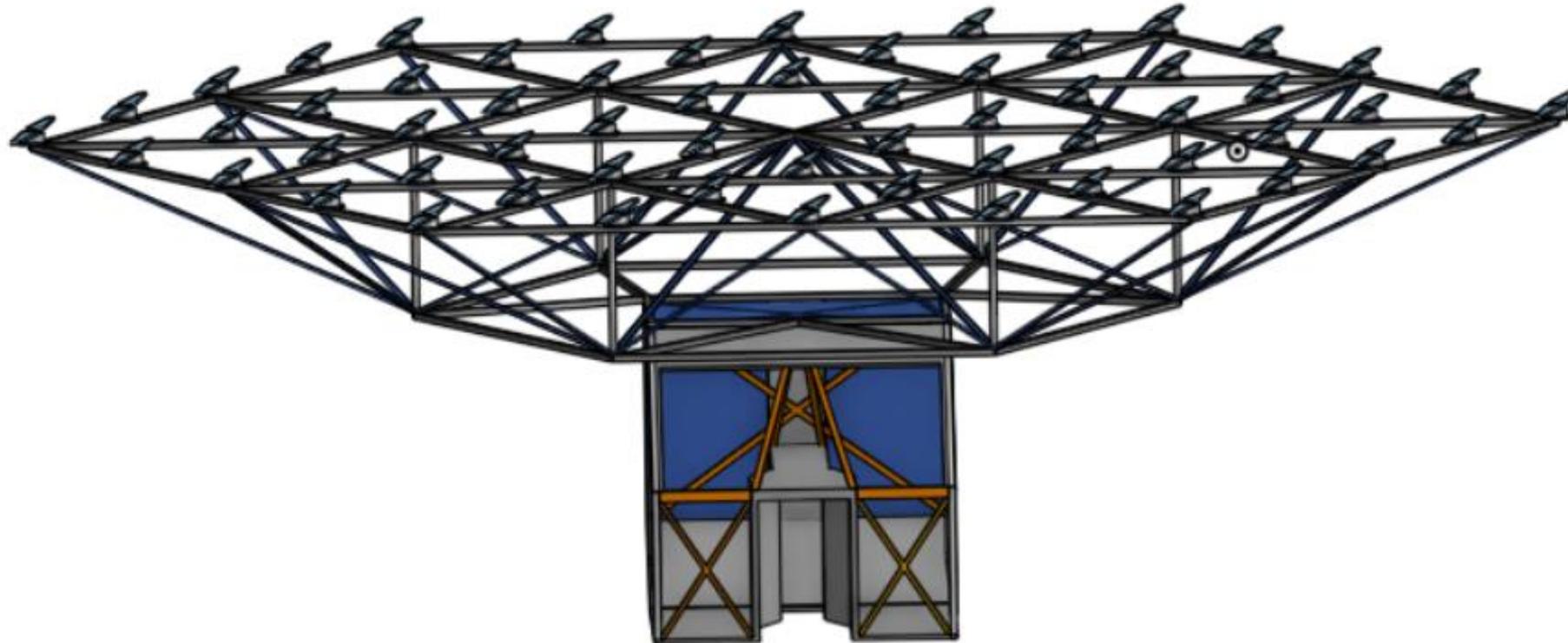
# État de l'art STRUCTURE



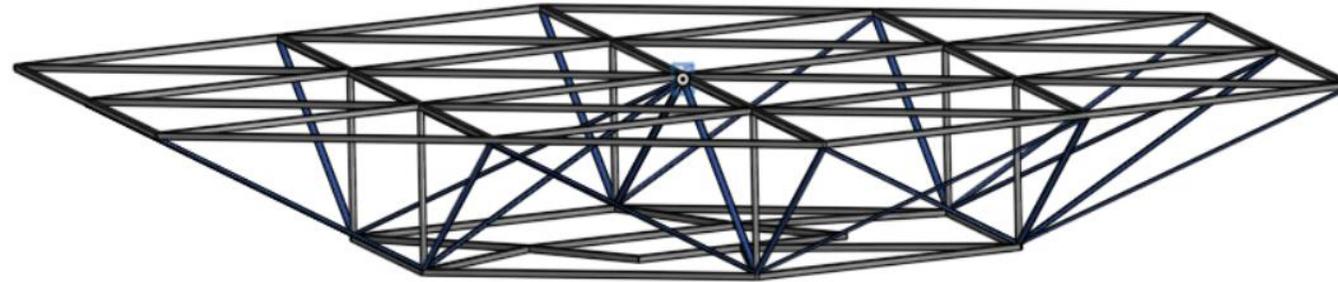
- Paramètres de contraintes : Masse de l'armature, Effort, diamètre des moteurs, épaisseur du creux pour faire passer les câbles dedans
- Paramètres modifiables : Nombre de barres, Hauteur des étages, épaisseur de l'armature (on a fixé la largeur de l'armature au diamètre des moteurs)

RDV semaine prochaine pour parler d'efforts sur onshape et être précis quant aux efforts. Fait

# Structure supérieure



# Masse Armature



## Propriétés de la masse



Pièce *étrier par défaut*

Pièces à mesurer

Part 2



Part 1



Connecteur de positionnement pour le cadre de référence

Afficher la variance de calcul

Masse  Écraser

90.87 kg

# Masse totale



Diameter/Pitch	34*11.5inch (863.6mm*292.1mm)
Working Temp	-40°C - 65°C
Weight (single propeller)	130±5g
Storage Temp	-10°C - 50°C
Material	CF+Epoxy
Storage Humidity	<85%
Surface Treatment	Glossy
Optimum RPM	1100-2800 RPM/min
Propeller type	2blades-integrated
Thrust Limitation	42kg

Environ 1 kg avec le reste de câble

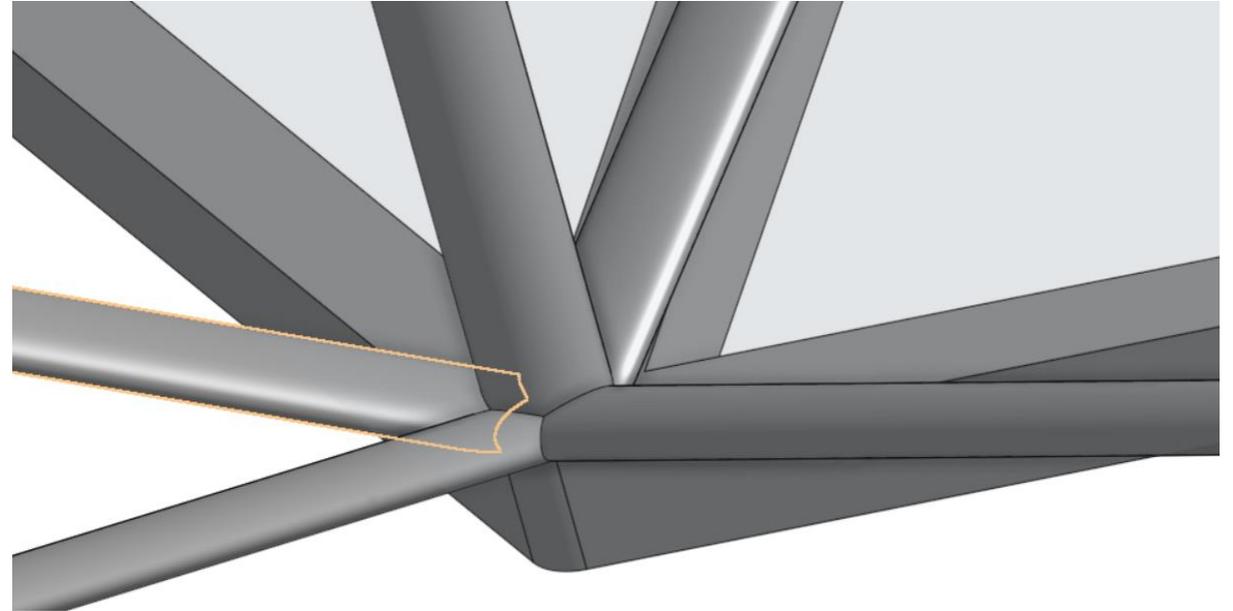
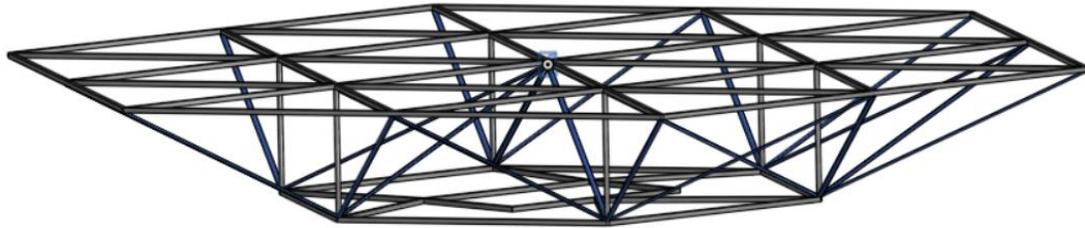


- KV : 120
- Plomb : fil émaillé
- Courant de repos (18 V) : 1,5 A
- Max. Puissance : 4560W
- Résistance interne : 22 mΩ
- Tension nominale (Lipo): 10 - 14 S
- Courant de crête (180s) : 95 A
- Niveau IP : IP55
- Durée de vie du moteur : 1500 vols (40 min/vol)
- Poids (câble inclus) 778 g

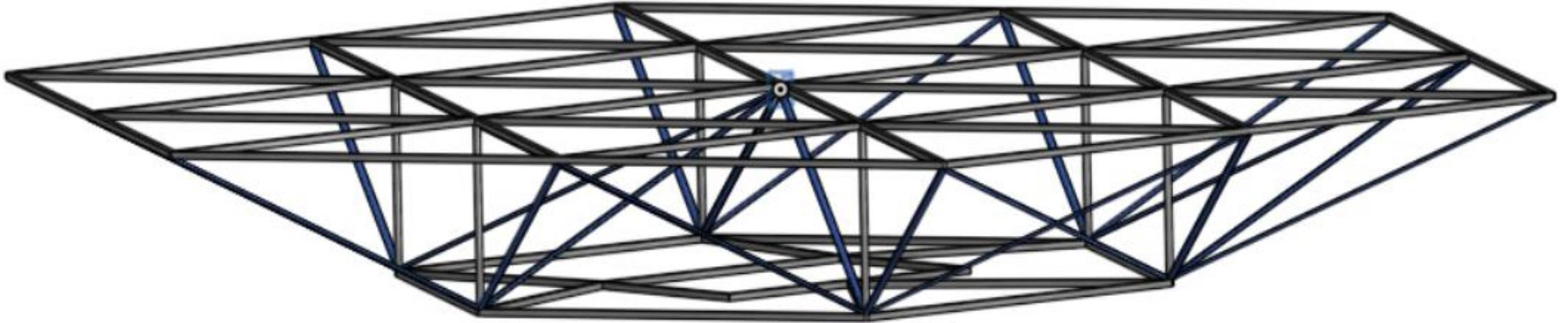
Masse totale de la structure supérieure:

$$M = 90\text{kg} + 60\text{kg} = 150\text{kg}$$

# Conception des nœuds



Discussion au sujet de la faisabilité de cette structure en composite. A Centrale on n'a pas les moyens de reproduire les différents nœuds de la structure. Possibilité de faire les nœuds en alu et garder les barres en composite.

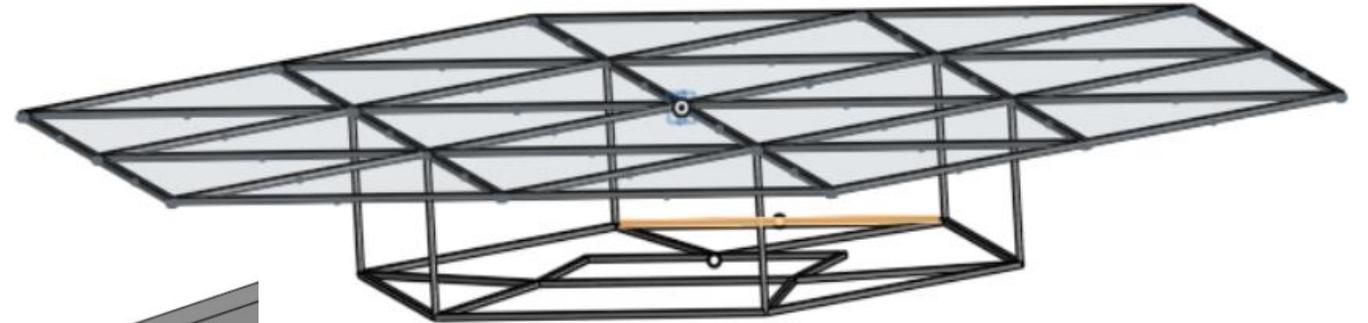
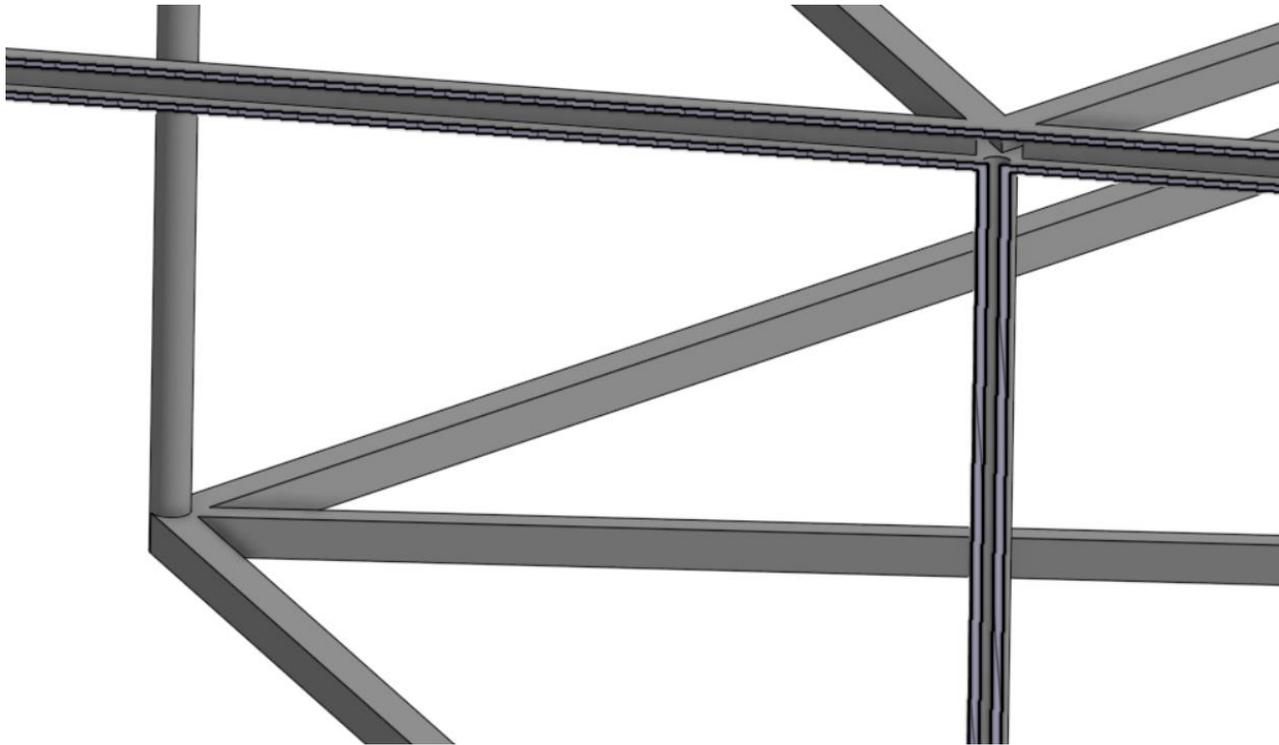


**Utilisation du logiciel RDM Version 7.04 (5/3/2020):**

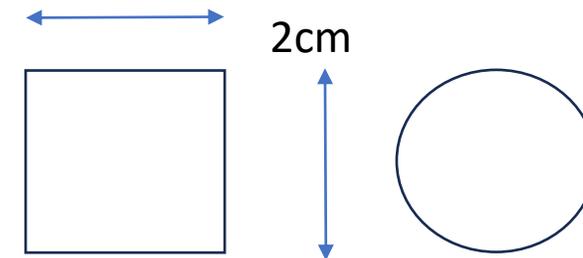
**Structure à remodeler sur ce logiciel puis reprendre rdv avec un prof pour en discuter. D'après ce qu'a dit le prof il n'y aurait pas besoin d'autant d'épaisseur. En tout cas pour la statique.**

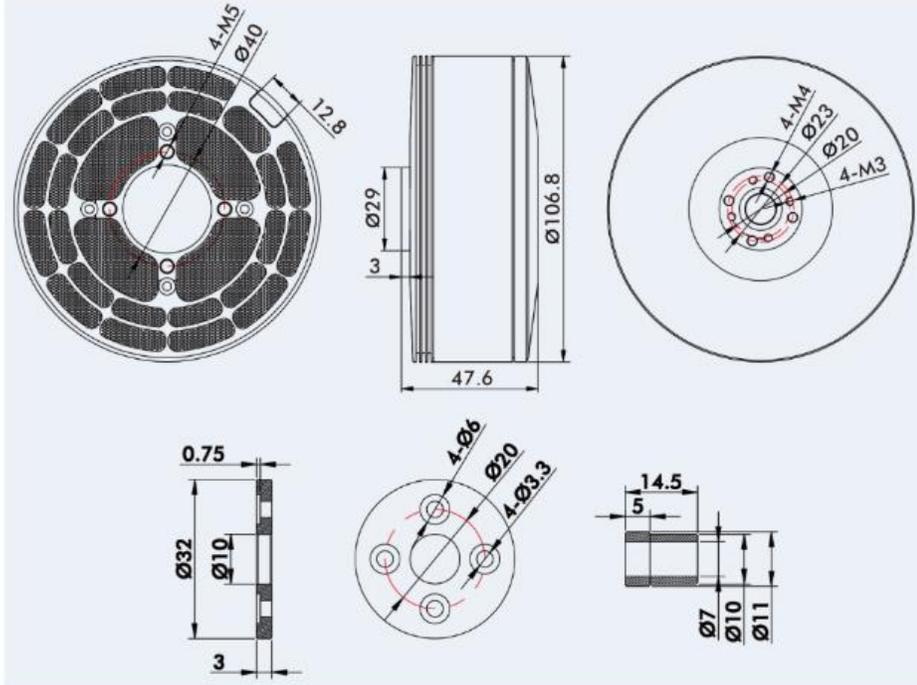
**A voir aussi pour bien faire passer les câbles**

# Structure creusée



Carré de 2\*2cm vide ou un rond de 2cm de diamètre  
Avec épaisseur de 0.5cm sur les côtés

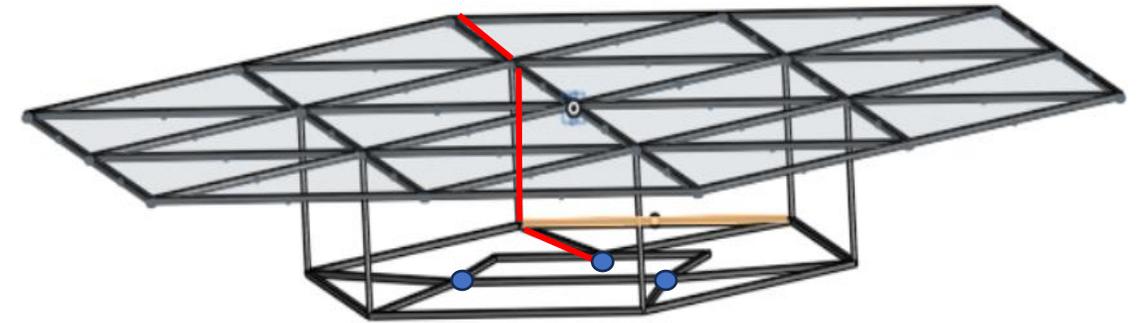




#### Taille

- Moteur :  $\Phi$  106,8 x 47,6 mm
- Diamètre de l'arbre : 15 mm
- Longueur du fil : 90 mm

**Fil trop court**



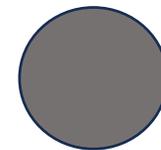
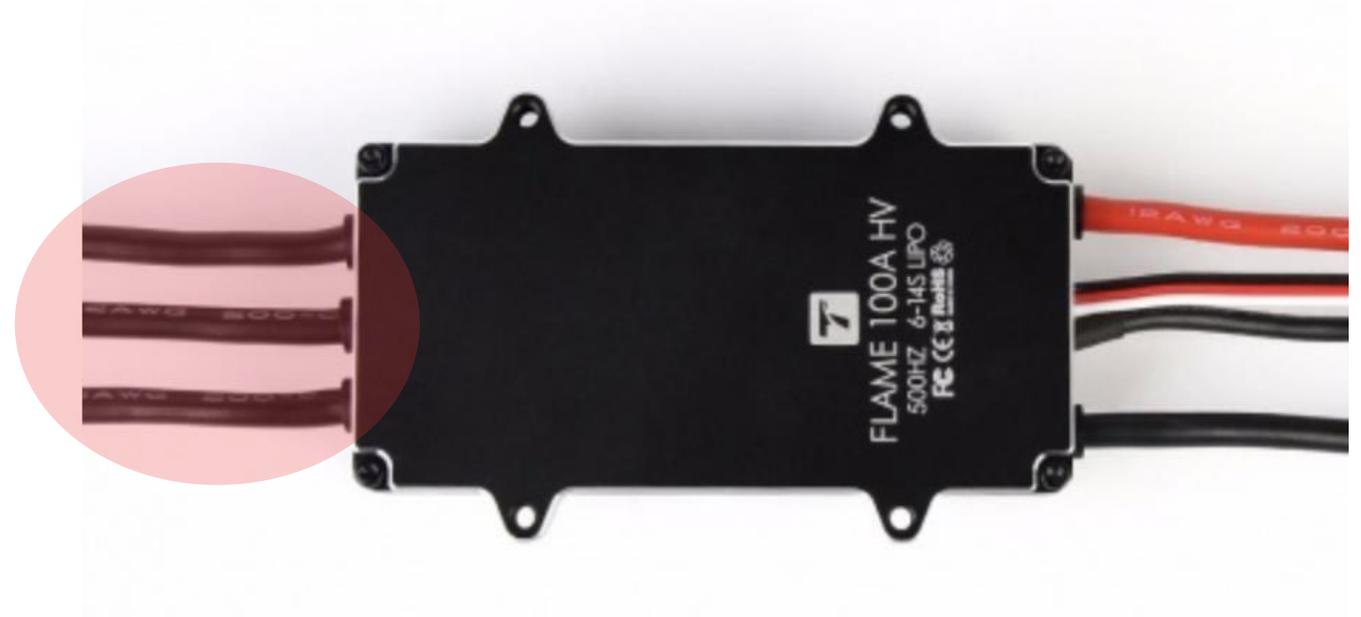
- Sortie de câbles
- câbles

Chemin le plus long serait de 400cm max

Ça va couter cher en câbles

# Détermination du diamètre minimal des barres

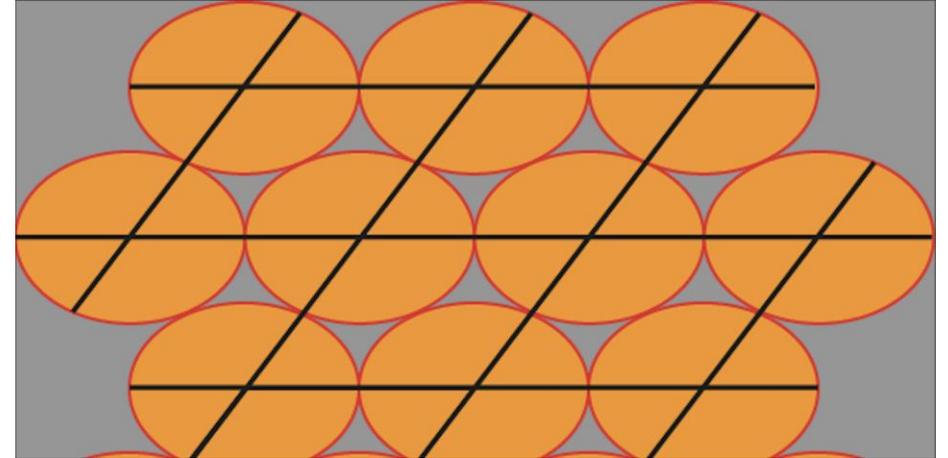
- L'objectif est de faire passer ces câbles dans les barres montantes de la structure supérieure
- On a 60 câbles à faire passer dans 6 barres



Le diamètre d'un câble est de 4.5mm

# Détermination du diamètre minimal des barres

- On arrange nos câbles de manière hexagonal (arrangement le plus compacte)
- On obtient un rectangle englobant de dimensions minimales : longueur =  $4D$ , largeur =  $2R + R \cdot 7/2$



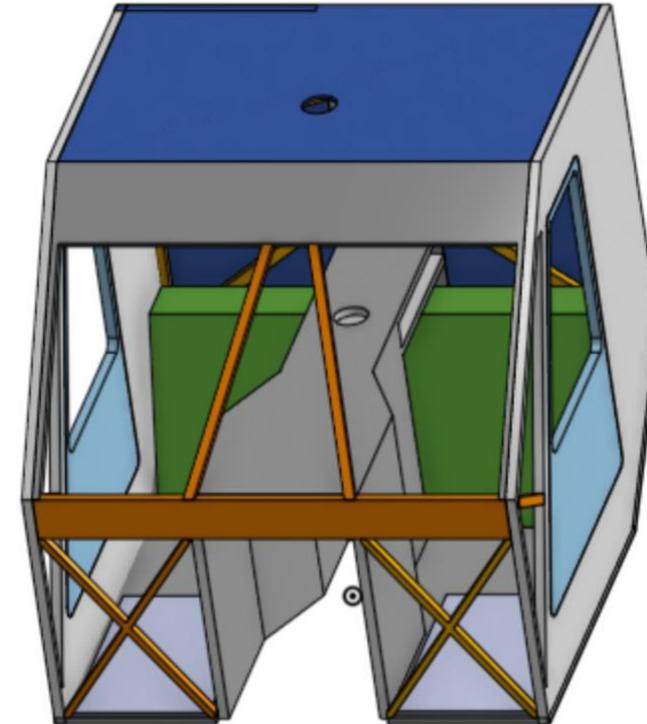
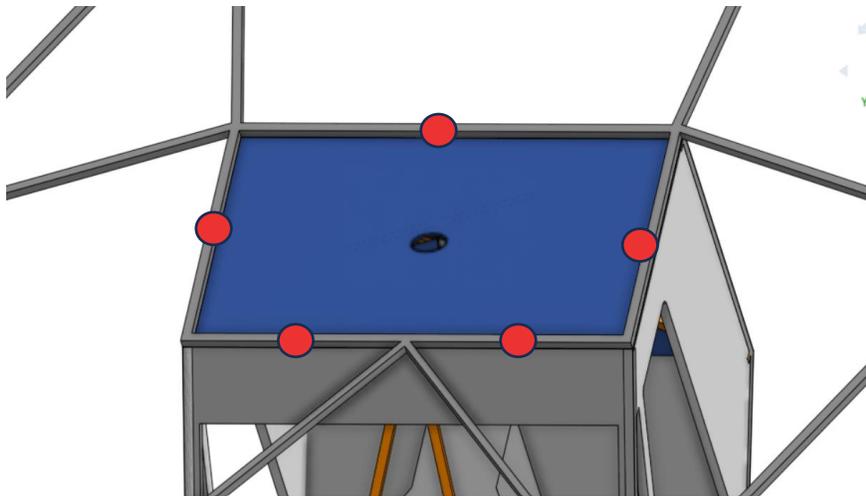
Pour faire monter les câbles il y a 6 barres, donc 10 par barres



Le calcul nous donne des dimensions minimales pour la barre de 18mm x 12.3mm

Validé pour le moment, à voir après l'étude statique

# Passage des câbles



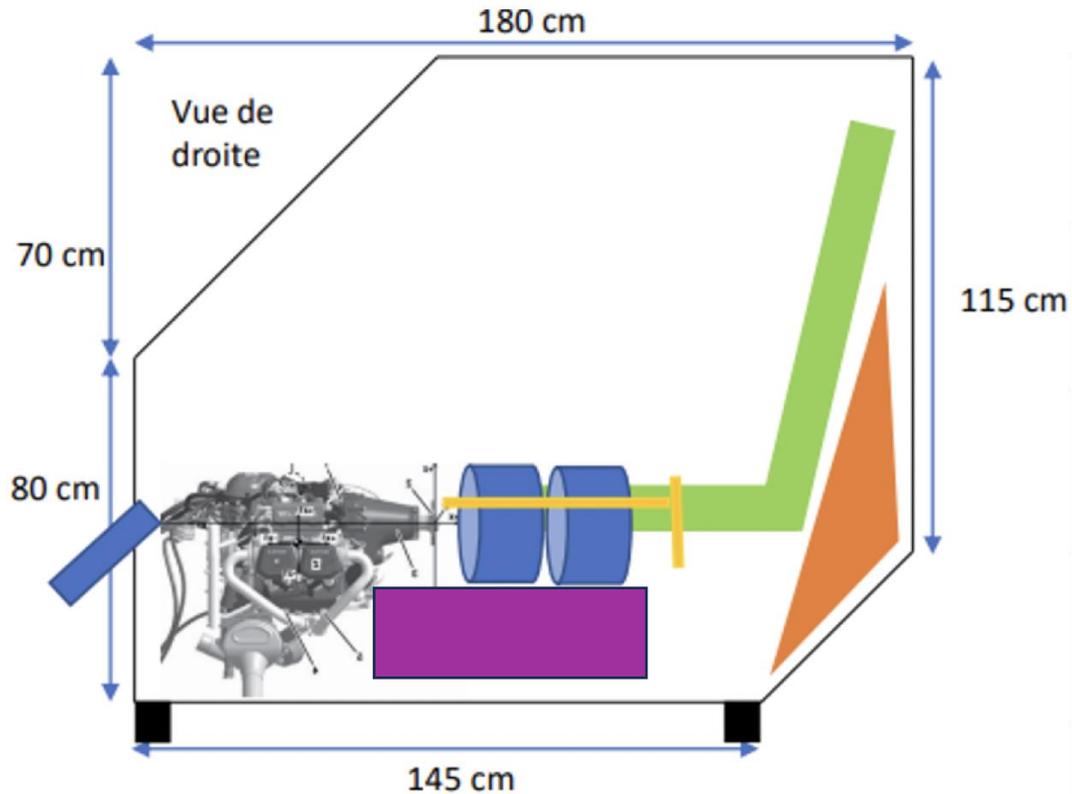
- Entrée des câbles en dehors des points de fixations
- Double plafond pour avoir une sortie unique des câbles au centre

# Particularité masse carburant

Volume de carburant à embarquer	Masse de carburant à embarquer	Variation de masse du mini bee (réservoir plein/ réservoir vide)	Volume du réservoir à laisser libre (expansion dû à la chaleur)	Volume du réservoir nécessaire
120L	90kg	15%	25%	160L

- Le réservoir est une **masse variable** qu'il est préférable de **placer au centre**

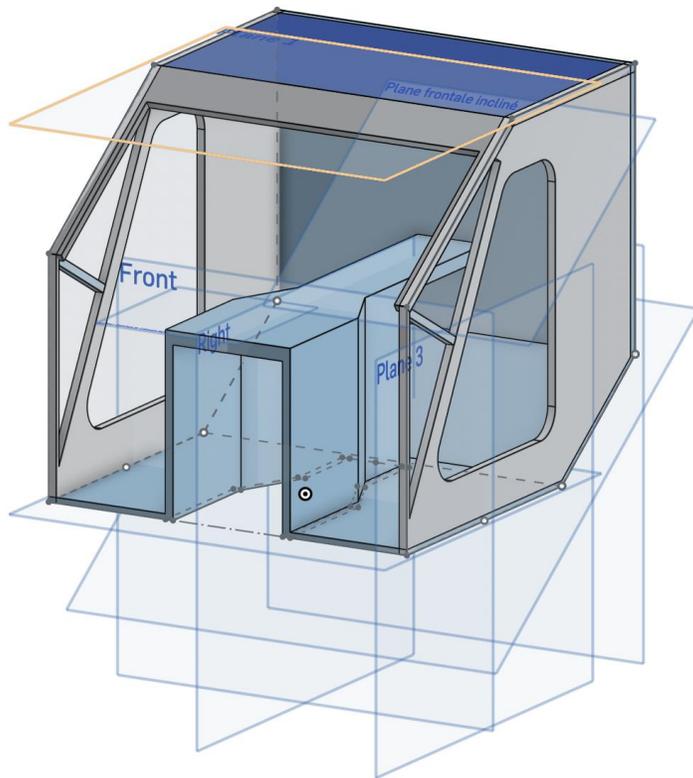
# Position du réservoir



	Position actuelle	Position proposée (En dessous des emrax)
Sécurité	⊖	⊕
Longueur de la tuyauterie	⊖ ⊖	⊕ ⊕
Place pour les jambes	⊕	⊖
Répartition de la masse	⊖	⊕

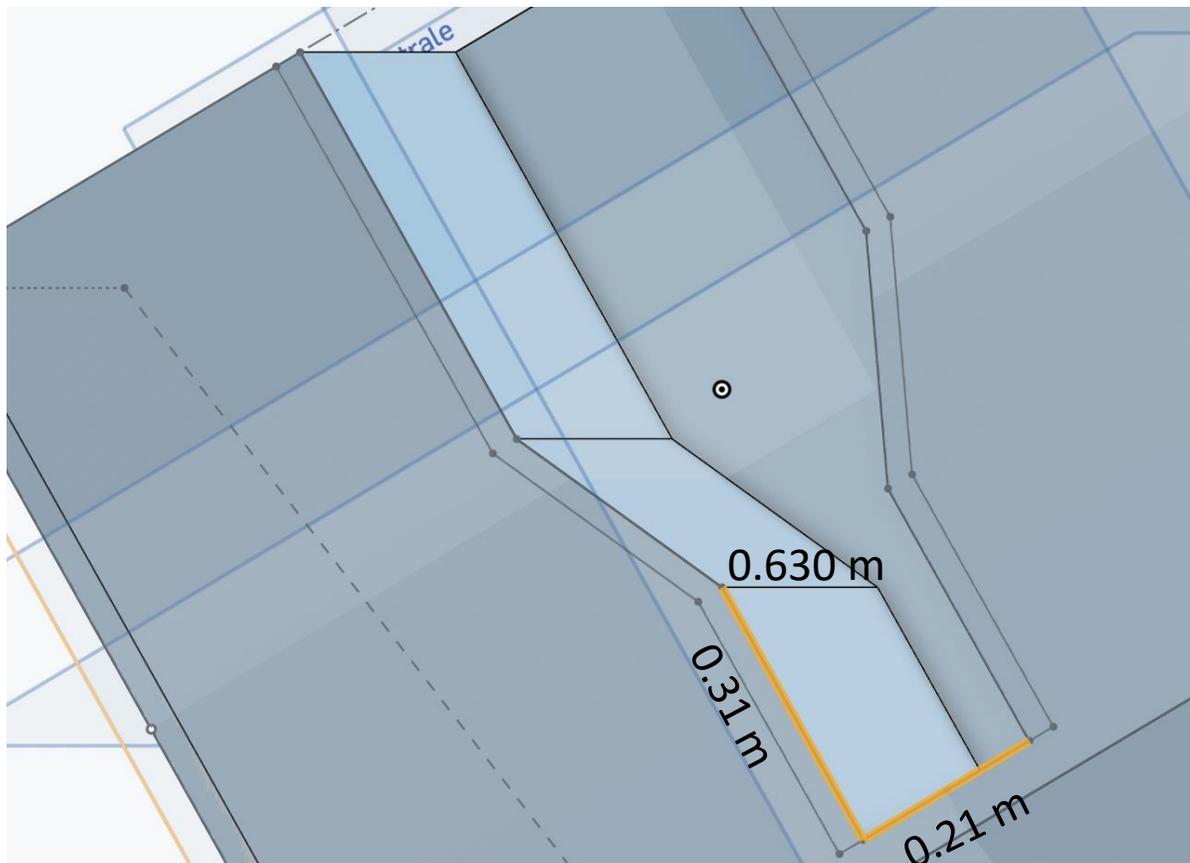
# Position du réservoir

- Problème soulevé : y a-t-il suffisamment de place sous les emrax ?



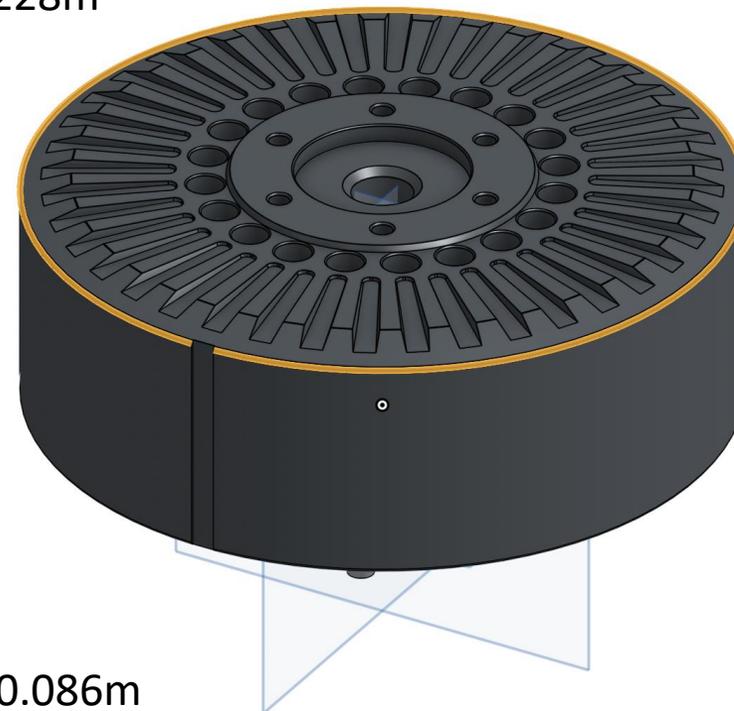
Modélisation sur Onshape de la cabine avec les dimensions annoncées

## Dimensions de l'emplacement des emrax



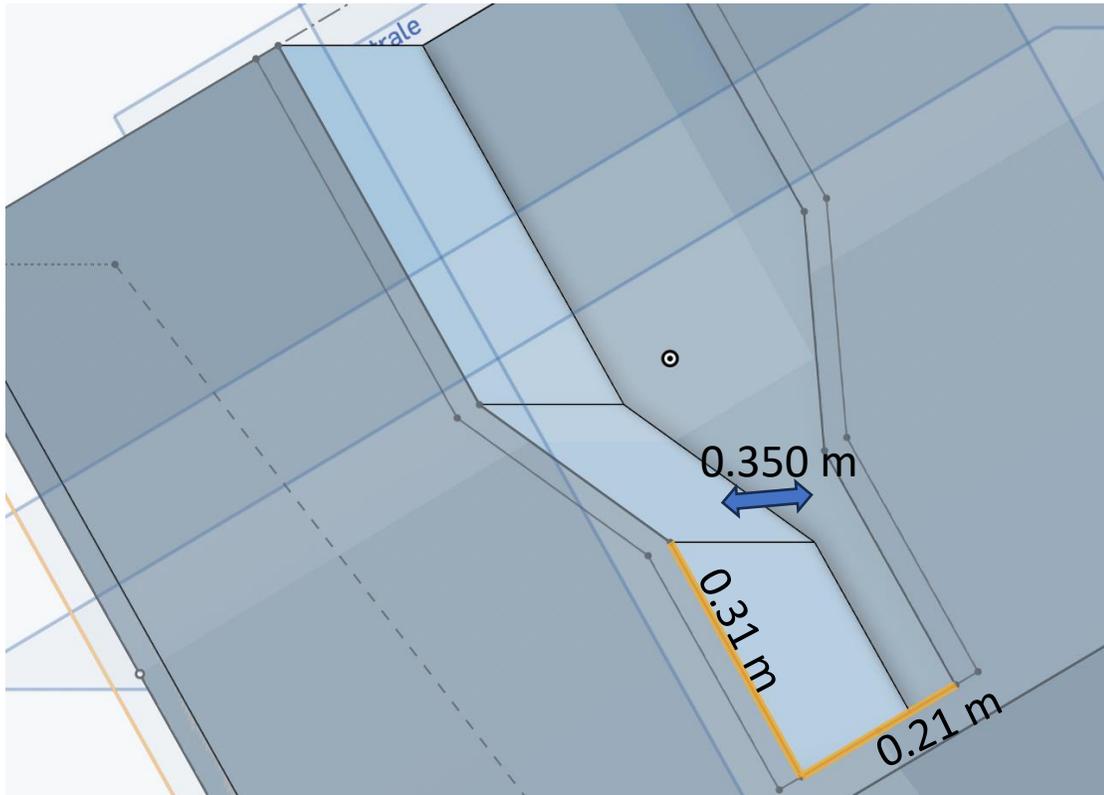
## Dimensions d'un emrax

$D=0.228\text{m}$



Axe=0.086m

## Place effectivement disponible pour le réservoir sous les emrax



Calcul du volume disponible :

$$V = 0.35\text{m} \times 0.31\text{m} \times 0.21\text{m} =$$

$$23\text{L} \ll 160\text{L}$$

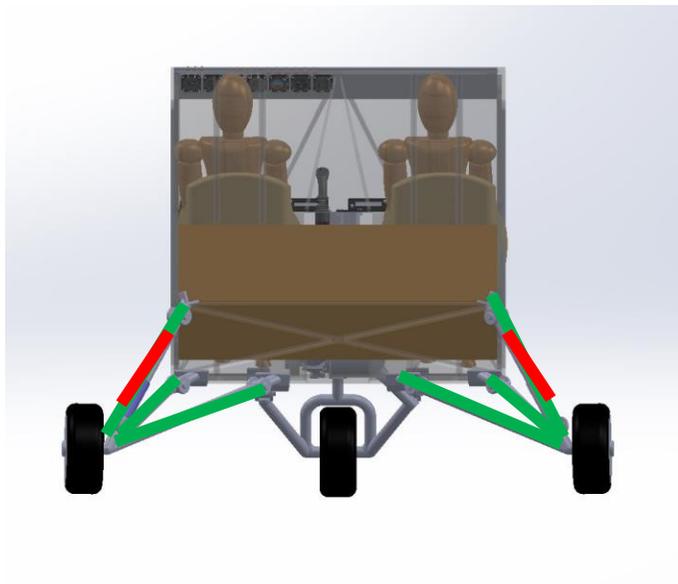
Volume de carburant à embarquer	Masse de carburant à embarquer	Variation de masse du mini bee	Volume du réservoir à laisser libre	Volume du réservoir nécessaire
120L	90kg	15%	25%	160L

**Conclusion : mettre un réservoir sous les emrax est inutile.**

**➔ Réservoir derrière les sièges**

# Système d'atterrissage

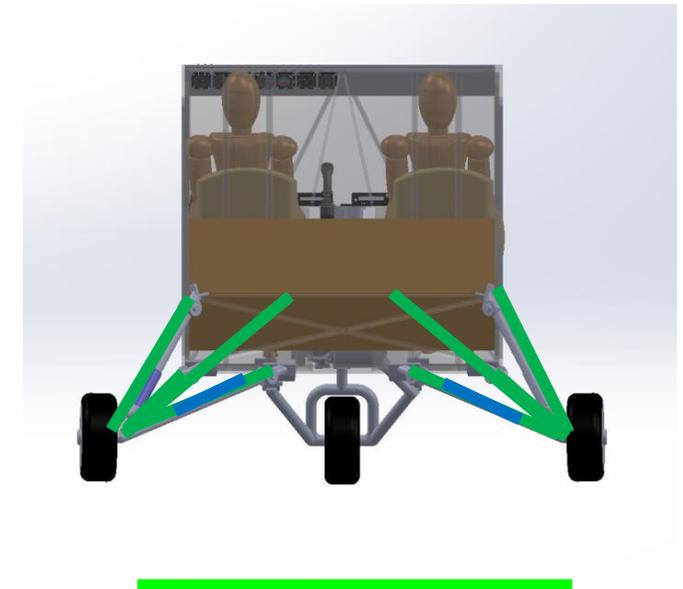
- 2 options : suspension en extension ou en compression



Utilisation d'une suspension en **compression**

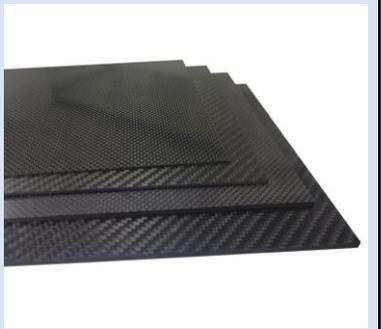
- Suspension en compression
- Barre de reprise d'effort
- Suspension en extension

A l'arrière on opte pour deux suspensions en extension. A l'avant en compression



Utilisation d'une suspension en **extension**

# Matériaux

NOM	Aluminium	Toile	Composite	Plexiglass	Renforts ( Aluminium )
Visuel					
Matériau	Aluminium 2024	Dacron	Composite Carbone Epoxy	Plexiglass	Aluminium 2024
Masse Volumique ( g/cm <sup>3</sup> )	2,77	1,4	1,6	1,9	2,77
Epaisseur des plaques (mm)	2,5	1	0.5	2	N/A
Masse Surfaccique / linéique	6,93	1,4	0.8	3,8	0,57

# Matériaux Structure Inférieure

Surface (m2)	Structure 1 (ALUMINIUM+TOILE)	Masse (kg)	Structure 2 (Sans Porte)	Masse (kg)	Structure 3 (Composite)	Masse (kg)
1,3	Plafond (toile)	1,82	Plafond (toile)	1,82	Plafond (composite)	2,08
1,64	Plancher (aluminium)	11,36	Plancher (aluminium)	11,36	Plancher (aluminium)	11,36
1,27	Paroi arrière verticale côtés (toile)	2,07	Paroi arrière verticale côtés (toile)	2,07	Paroi arrière verticale côtés (composite)	2,032
0,21	Paroi arrière verticale centre (aluminium)	1,4553	Paroi arrière verticale centre (aluminium)	1,46	Paroi arrière verticale centre (aluminium)	1,46
0,86	Paroi arrière inclinée (aluminium)	5,96	Paroi arrière inclinée (aluminium)	5,96	Paroi arrière inclinée (Composite)	1,376
2,42	Bloc central (aluminium)	16,76	Bloc central (aluminium)	16,76	Bloc central (Composite)	3,872
0,33	contour pare-brises (aluminium)	2,29	contour pare-brises (aluminium)	2,29	contour pare-brises (Composite)	0,528
1,86	Parois latérales (x2) (aluminium)	12,88	Parois latérales (x2) (toile)	2,6	Parois latérales (x2) (Composite)	2,976
0,88	Portes (x2) (aluminium)	6,09	Portes (x2) (rien)	0	Portes (x2) (Composite)	1,408
0,66	Vitres portes (x2) (plexiglass)	2,51	Vitres portes (x2) (plexiglass)	2,51	Vitres portes (x2) (plexiglass)	2,51
0,39	Vitres parois latérales (plexiglass)	1,48	Vitres parois latérales (rien)	0	Vitres parois latérales (plexiglass)	1,48
1,1	Pare-brise principal (plexiglass)	4,18	Pare-brise principal (plexiglass)	4,18	Pare-brise principal (plexiglass)	4,18
0,53	Pare-brise secondaire (x2) (plexiglass)	2,01	Pare-brise secondaire (x2) (plexiglass)	2,01	Pare-brise secondaire (x2) (plexiglass)	2,01
	<b>Total</b>	<b>70,8653</b>	<b>Total</b>	<b>53,02</b>	<b>Total</b>	<b>37,272</b>

On retient 3 scénarios possibles

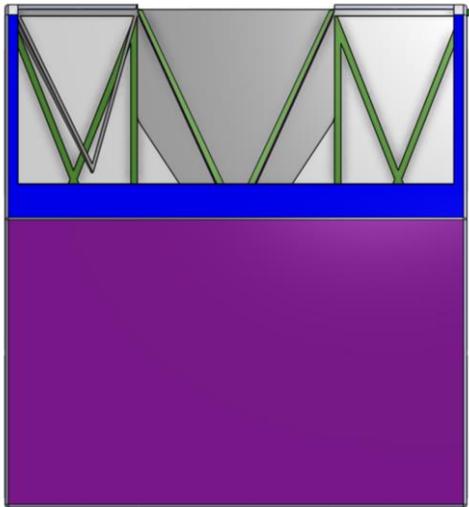
# Matériaux Structure Inférieure

Structure	1 ( Aluminium + Toile )	2 ( Sans Porte )	3 ( Composite )
Avantages	Prix / Confort	Prix / Masse	Masse / Esthétique
Inconvénients	Masse	Esthétique / Confort	Prix

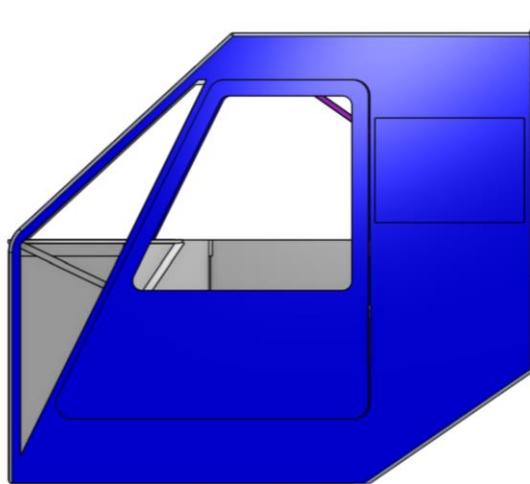
On retient donc la Structure 1 pour sa simplicité car pour l'instant il ne semble pas nécessaire de gagner 20kg au détriment du prix ou du confort.

Structure 1 (ALUMINIUM+TOILE)	Masse (kg)
Plafond (toile)	1,82
Plancher (aluminium)	11,36
Paroi arrière verticale côtés(toile)	2,07
Paroi arrière verticale centre (aluminium)	1,4553
Paroi arrière inclinée (aluminium)	5,96
Bloc central (aluminium)	16,76
contour pare-brises (aluminium)	2,29
Parois latérales (x2) (aluminium)	12,88
Portes (x2) (aluminium)	6,09
Vitres portes (x2) (plexiglass)	2,51
Vitres parois latérales (plexiglass)	1,48
Pare-brise principal (plexiglass)	4,18
Pare-brise secondaire (x2) (plexiglass)	2,01
<b>Total</b>	<b>70,8653</b>

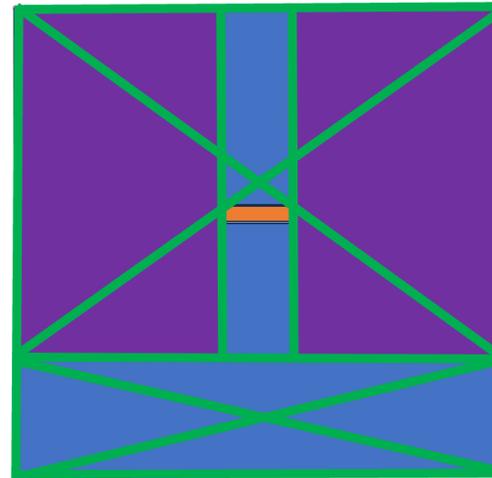
# Structure Retenue (Aluminium + Composite)



Vue de haut



Vue de côté



Vue de l'arrière



Composite



Aluminium



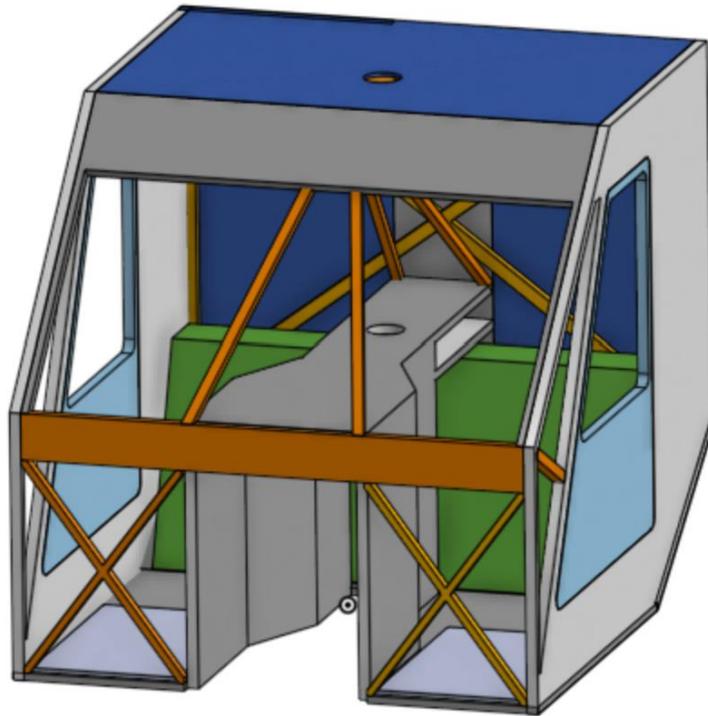
Renfort Aluminium



Poutre centrale

Structure 1 (ALUMINIUM+COMPOSITE)	Masse (kg)
Plafond (composite)	1,04
Plancher (aluminium)	11,36
Paroi arrière verticale côtés (composite)	1,02
Paroi arrière verticale centre (aluminium)	1,4553
Paroi arrière inclinée (aluminium)	5,96
Bloc central (aluminium)	16,76
contour pare-brises (aluminium)	2,29
Parois latérales (x2) (aluminium)	12,88
Portes (x2) (aluminium)	6,09
Vitres portes (x2) (plexiglass)	2,51
Vitres parois latérales (plexiglass)	1,48
Pare-brise principal (plexiglass)	4,18
Pare-brise secondaire (x2) (plexiglass)	2,01
<b>Total</b>	<b>69,0353</b>

# Modélisation Cabine



Ajout du réservoir  
et des plaques-pieds

# Étude aérodynamique

- Motivations

- La force de traînée représente plus d'un quart de la dépense énergétique en vol

**Poids = 7500 N**

**Frottement de l'air =  $\frac{1}{2}\rho V^2 SC_z = 2700 \text{ N}$**

$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$

$V = 47 \text{ m/s}$

$S = 2,32 \text{ m}^2$

$C_z = 0,8$

- La forme actuelle est aberrante d'un point de vue aérodynamique

- Atout

- Nous disposons d'une soufflerie à Centrale Lille

Etudier la forme actuelle et la compatibilité d'une forme plus aérodynamique avec les contraintes de masse et de rigidité.

# Livrables à court termes Pôle Structure

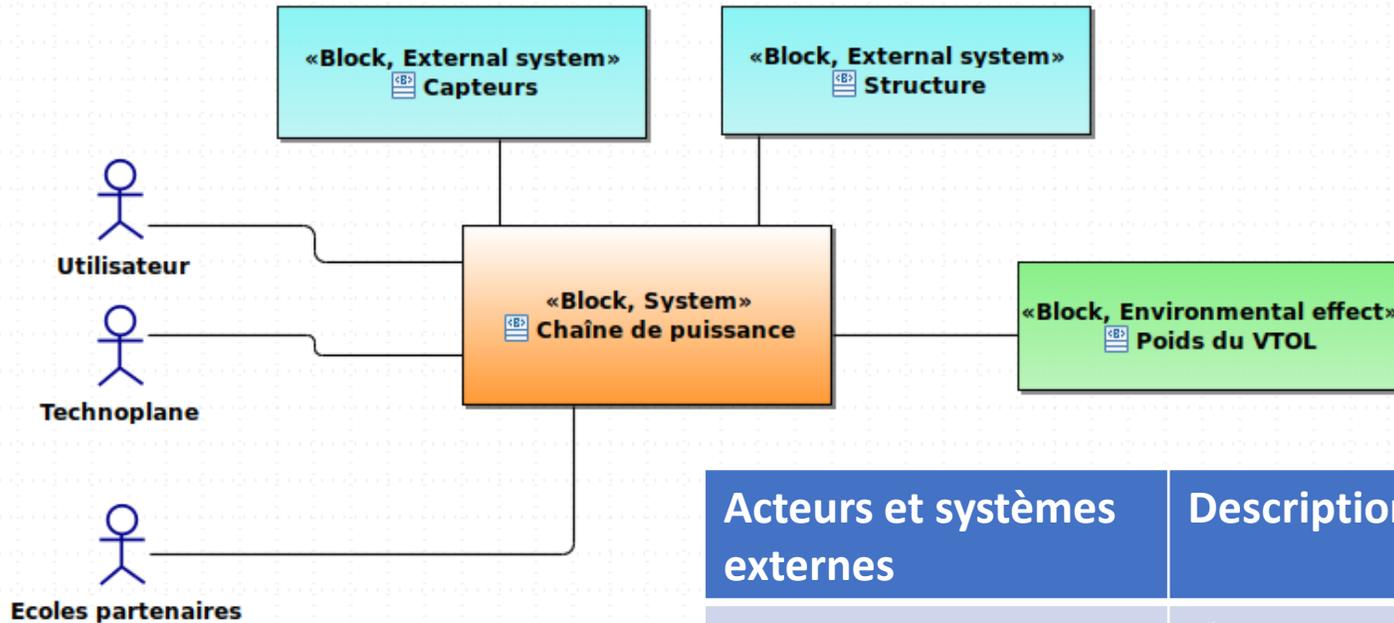
## Agencement de la cabine

- Choisir les points d'accroche des vérins
- Modéliser les vérins

## Structure globale

- Etudier la fixation du moteur dans la structure
- Finaliser le bilan de masse
- Etudier l'aérodynamisme de la structure

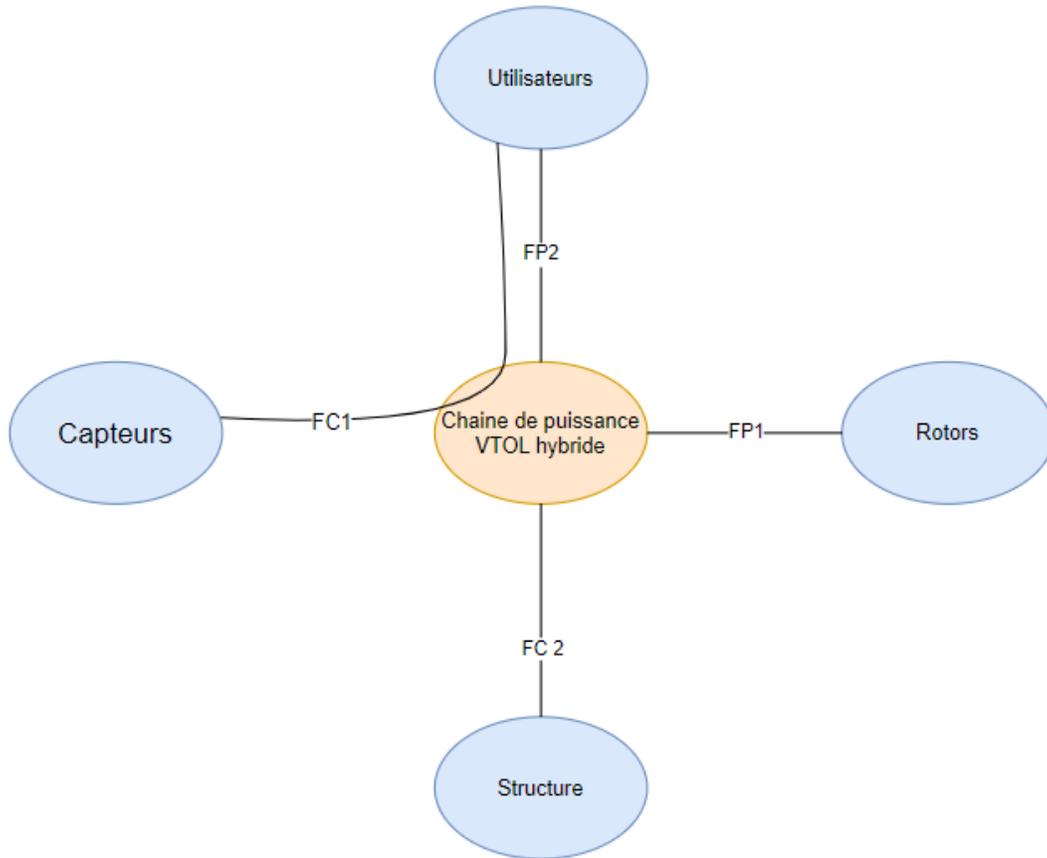
# Électronique de puissance



# Diagramme de contexte

Acteurs et systèmes externes	Description
Utilisateur	L'utilisateur qui pilote le VTOL.
Technoplane	Fabricant du VTOL Hybride.
Ecoles partenaires	Groupes de projet collaborant sur le Mini-Bee.
Poids du VTOL	Lié à la masse totale de l'appareil.
Capteurs	Les différents capteurs installés sur le système.
Structure	La structure du système sur laquelle s'appuie la chaîne de puissance.

# Analyse fonctionnelle



FP1	Fournir de la puissance pour déplacer le Mini-Bee
FP2	Contrôler la puissance générée à l'aide de la manette des gaz
FC1	La chaîne de puissance doit intégrer des capteurs nécessaires au contrôle du système
FC2	La chaîne doit s'inscrire dans la structure globale du Mini-Bee

# Exigences

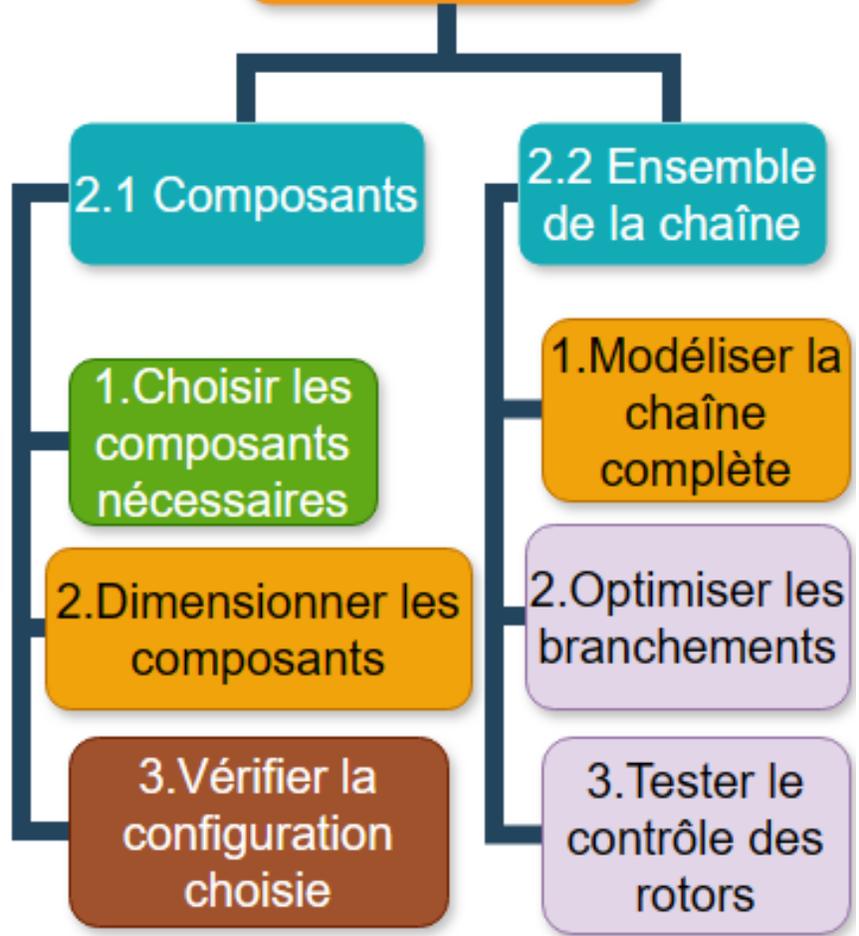
id	Description	Acteur émetteur
1	S'assurer de la transmission de puissance dans toute la chaine	TechnoPlane
2	Le pilote doit pouvoir adapter la poussée aux conditions de vol	Utilisateur
3	Le Mini Bee doit continuer de voler en cas de panne d'un EMRAX	TechnoPlane
4	Prévoir un moyen de stocker de l'énergie électrique	TechnoPlane

# Objectifs

- Choix et validations des composants
- Déterminer l'agencement de l'ensemble de la chaine de puissance

# WBS

## 2. Chaîne de puissance



Lot en cours de réalisation  
Lot réalisé

Lot qui sera réalisé si le temps le permet  
Lot non débuté

# Matrice RACI

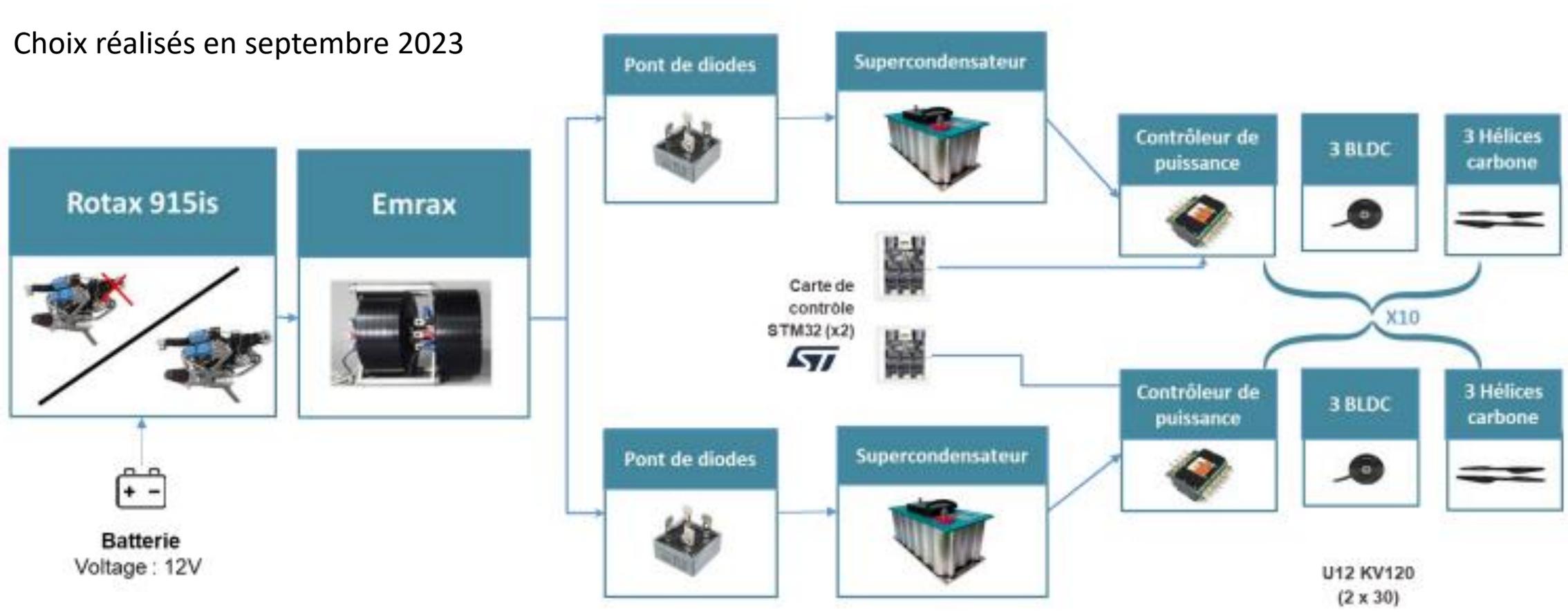
Tâches	Description	M.K	T.J	N.L	J.Y	X.D	V.D	N.G	K.M	A.EK
2.1 Composants	2.1.1 Choix des composants nécessaires	R	R	R	I	A/C	I	I	C	C
	2.1.2 Dimensionnement des composants	I	I	R	R	A/C	I	I	C	C
	2.1.3 Vérification de la configuration choisie	R	R	R	R	A/C	I	I	C	C
2.2 Ensemble de la chaîne	2.2.1 Modélisation de la chaîne complète	R	I	I	I	A/C	I	I	C	C
	2.2.2 Optimisation des branchements	R	R	R	I	A/C	I	I	C	C
	2.2.3 Essai de contrôle des rotors	R	R	R	R	A/C	I	I	C	C

M.K : Martin KOEBEL  
T.J : Thibaud JULIEN  
N.L : Noah LAFAY  
J.Y : Junhao YANG  
X.D : Xavier DUTERTRE  
V.D : Victor DAVIAUD  
(responsable structure)  
N.G : Nathan GARCENOT  
(responsable capteurs)  
K.M : Khaled MESGHOUNI  
A.EK : Abdelkader EL KAMEL

R	Réalisateur
A	Autorité
C	Consulté
I	Informé

# État de l'art ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Choix réalisés en septembre 2023



# Rotax

- Moteur : entrée de la chaîne de propulsion

Au décollage :  $P_{max} = 104 \text{ kW} / 4350\text{-}5800 \text{ RPM}$

Vol stationnaire :  $P_{max} = 99 \text{ kW} / 3000\text{-}5500 \text{ RPM}$

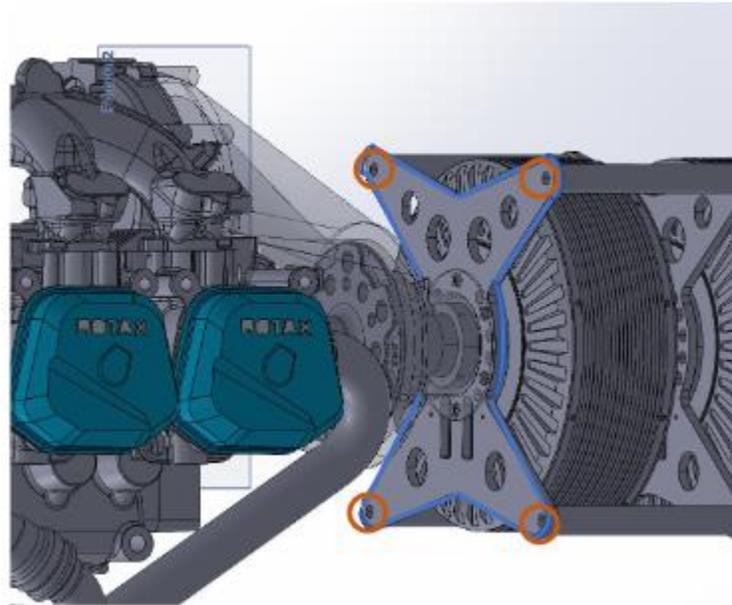
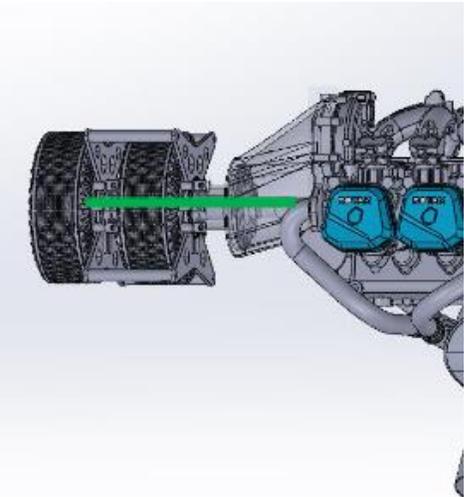
- Choisir **composants adaptés à 104 kW / 5800 RPM**



On part de la fin de la chaîne et on remonte jusqu'au ROTAX pour connaître son régime de fonctionnement dans le système

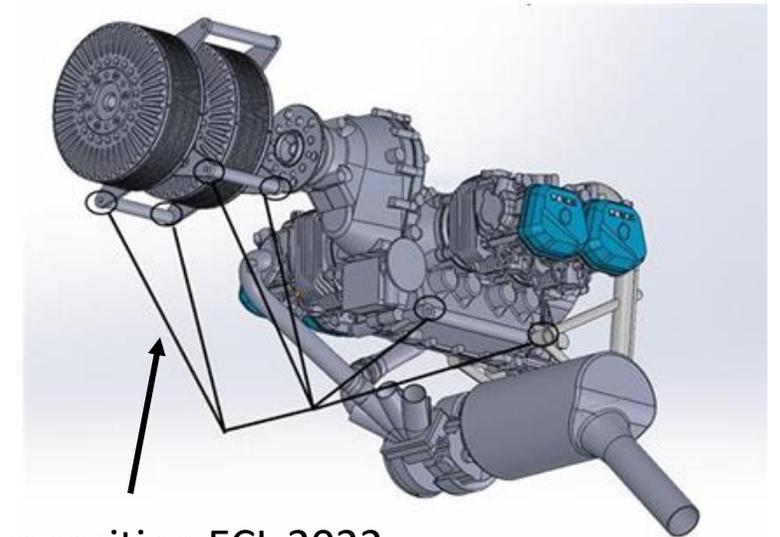
# Association Rotax-Emrax

- Liaison avec le Rotax à modifier car plus de Gearbox



Modélisation 3D de l'accroche au niveau de l'Emrax

Fixation :



Proposition ECL 2022-2023 à garder ?

Proposition validée, dimensions et fixation sur la structure encore à voir

# Liaison Rotax-Emrax anti vibratoire

- Pourquoi utiliser ce dispositif ?
  - Dissocier les vibrations permet de diminuer les contraintes sur la structure globale
  - Usure des matériaux (roulements, arbres, joints, pièces mobiles...)
  - Consommation de carburant moins élevée ?
- Solutions envisageables
  - Utilisation de matériaux isolants
  - Support moteur (Silent box)
  - Articulation élastique à l'interface rotax/emrax ou avec le bâti
  - Accouplement d'arbre flexible à l'interface rotax/emrax



# Comparatif des solutions

	Matériaux isolants	Support moteur (silent box)	Articulation élastique	Accouplement d'arbre flexible
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu coûteux</li> <li>• Simple à mettre en place</li> <li>• Très léger (centaines de g)</li> <li>• Qualité d'atténuation ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité d'en mettre plusieurs</li> <li>• Position ajustable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité d'en mettre plusieurs</li> <li>• Peut être fixé au bâti</li> <li>• Position ajustable</li> <li>• Très léger (centaines de g)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleure qualité d'atténuation ?</li> <li>• Ne prend pas de place</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte sensibilité à la détérioration (au vu de la disposition actuelle du moteur)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problème de poids (12kg unité)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déformation à cause des hautes T</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prix</li> <li>• Pièce en acier donc poids plus élevé</li> <li>• Transmission des vibrations dans l'axe de la liaison ?</li> </ul>

**Solution retenue : accouplement d'arbre à l'interface rotax/emrax**



# Emrax

- Convertit l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique
- Version choisie : Emrax 228 (selon ESTACA)
- 2 Emrax : 1 Emrax alimente 30 rotors

Design voltage - nominal [V <sub>DC</sub> ]	710		
Motor peak efficiency [%]			
Peak power S2 2min [kW]	124 kW at 5500 RPM		
Continuous power S1 (kW)	55	64	75
Peak torque [Nm]			
Continuous torque [Nm]	96	112	130
Limiting speed [RPM]			

- Configuration High Voltage + Combined cooled

- P<sub>max</sub> = 124 kW et P<sub>nom</sub> = 75 kW

- U<sub>nom</sub> = 710V et I<sub>nom</sub> = 120A

Tension en entrée des supercondensateurs : 710 V  
Courant en entrée des supercondensateurs : 120 A

# Pont de diode

- Chaîne de puissance pour 1 Emrax : 5 ponts branchés en parallèle

D'après ESTACA :

Pont Redresseur	série VUO82, IXYS	série VS-100MT	série VS-MT	série VS-36MB	VS-36MT40
Tension	1200V	1600V	200V	100V	400V
Courant direct moyen	88A	100A	35A	35A (existe en 25A)	35A (existe en 25A)
Masse	159g	65g	20g	20g	20g
Dimensions	72 x 42 x 30mm	63.5 x 32.5 x 16mm	28.5 x 28.5 x 10mm	28.5 x 28.5 x 9.8mm	28.5 x 28.5 x 10mm
Coût (à l'unité TTC)	55,34 €	44,46 €	17,80 €	10,16 €	19,61 €
Montage	Panneau	Montage sur CI	bornes enfichables	bornes enfichables	bornes enfichables



Choix impossible :  
nécessité de fonctionner à 710 V

# Pont de diode

- Autre solution retenue (ESTACA 3A SQY 2023) :
  - Permet de supporter les grandeurs en sortie d'EMRAX
  - Un seul suffirait

Pont Redresseur	VS-160MT80KPBF	VUO160-12NO7
Tension	800V	1200V
Courant direct moyen	200A	175A
Masse	176g	284g
Dimensions	94 x 35 x 30mm	94 x 54 x 30mm
Coût (à l'unité TTC)	82,321	120,67 €
Montage	panneau	panneau



On choisit le VS-160MT80KPBF

# Choix du stockage d'énergie

Comparaison des performances (ordres de grandeur)

	Pile à combustible	Batterie	Supercondensateur	Condensateur électrolytique
Densité de puissance (W/kg)	120	30 - 1000	1 000 - 5 000	100 000
Densité d'énergie (Wh/kg)	150 - 1 500	30 - 300	4 - 6	0,1

$P = 75\text{kW}$  donc ordre de grandeur : 15 à 75 kg => acceptable

Energie si 1 seul condensateur :  $E = Q \cdot V / 3600 = 710 \text{ Wh}$  => au moins 118 kg impossible

Si n branches en parallèles : masse  $m \geq 1/6 \cdot Q \cdot V / (3600 \cdot n)$

Nombre de branches	2	3	4	5
Masse "mini" (kg)	60	40	30	24

On fait ce choix pour la suite

# Supercondensateurs

## Réflexion sur la configuration :

- Nombre de branches : modifie C => pas un problème

- Tension totale : modifie le nombre d'éléments  
Si on abaisse la tension : courant augmente  
(hypothèse 0 pertes)  
Voir réf. : on peut encore augmenter le courant

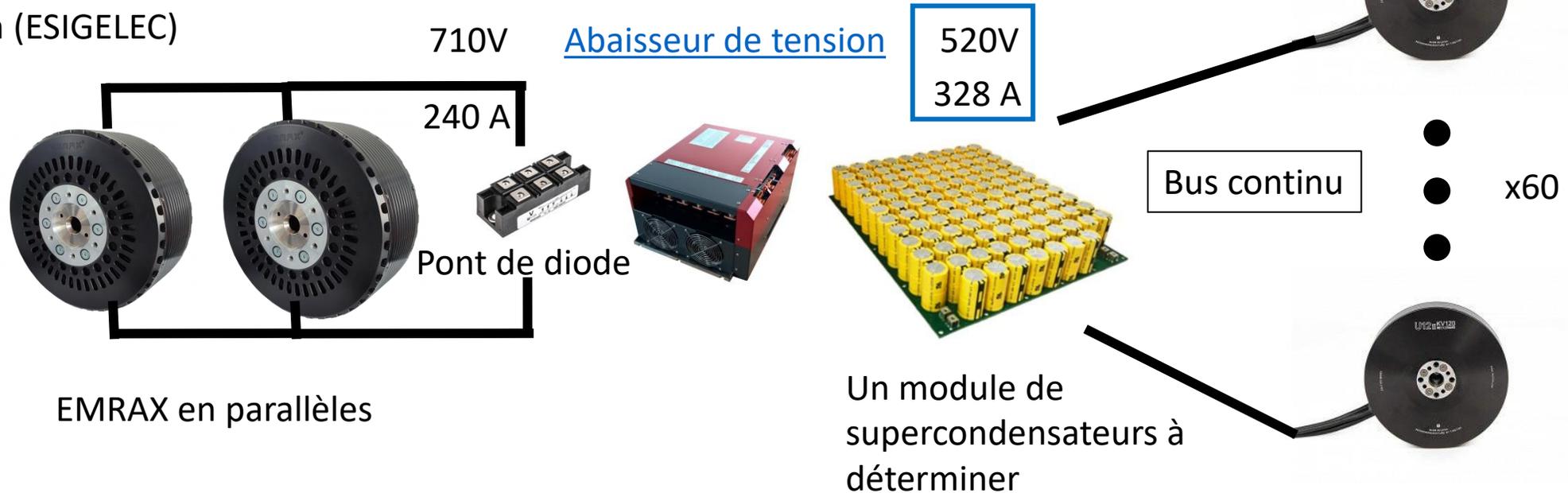
Différentes tensions avec 5 branches + cellules de 2.7V :

Tension en V	710	600	500	400	300	200
Nombre d'éléments	1315	1115	926	740	556	370
Courant dans chaque branche en A	24	28.4	34.08	42.6	56.8	85.2

Avec un abaisseur de tension on réduit de 819 le nombre de cellules (57,7% en moins) si on abaisse de 410 V la tension.

# Supercondensateurs

Echange avec Paul Moulin (ESIGELEC)  
sur la chaîne



Abaisseur de tension : convertisseur  
DC/DC car on alimente en courant  
la supercapacité

Intérêt du bus DC : système redondant, sécurité et  
deux sens de fonctionnement

# Supercondensateurs

Changement de composant (améliorable) : [référence](#)

Voir tableau Excel (serveur)



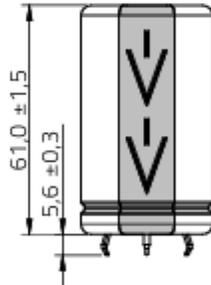
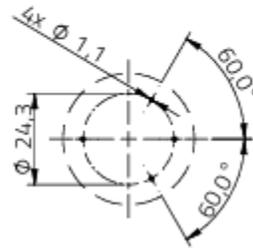
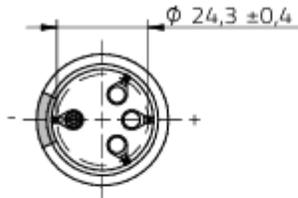
Puissance supplémentaire	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Temps (s)	60	60	60	40	30	30	20	20	20	10
Masse (kg)	62,725	75,27	100,36	87,815	87,815	100,36	75,27	87,815	100,36	62,725
Prix (TTC)	19 292 €	23 150 €	30 867 €	27 009 €	27 009 €	30 867 €	23 150 €	27 009 €	30 867 €	19 292 €

Cas possiblement intéressants

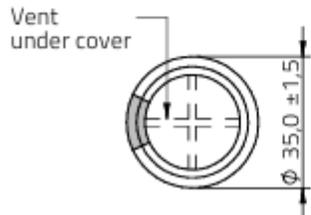
# Calcul du volume du module

Dimensions: [mm]

Recommended Hole Pattern: [mm]



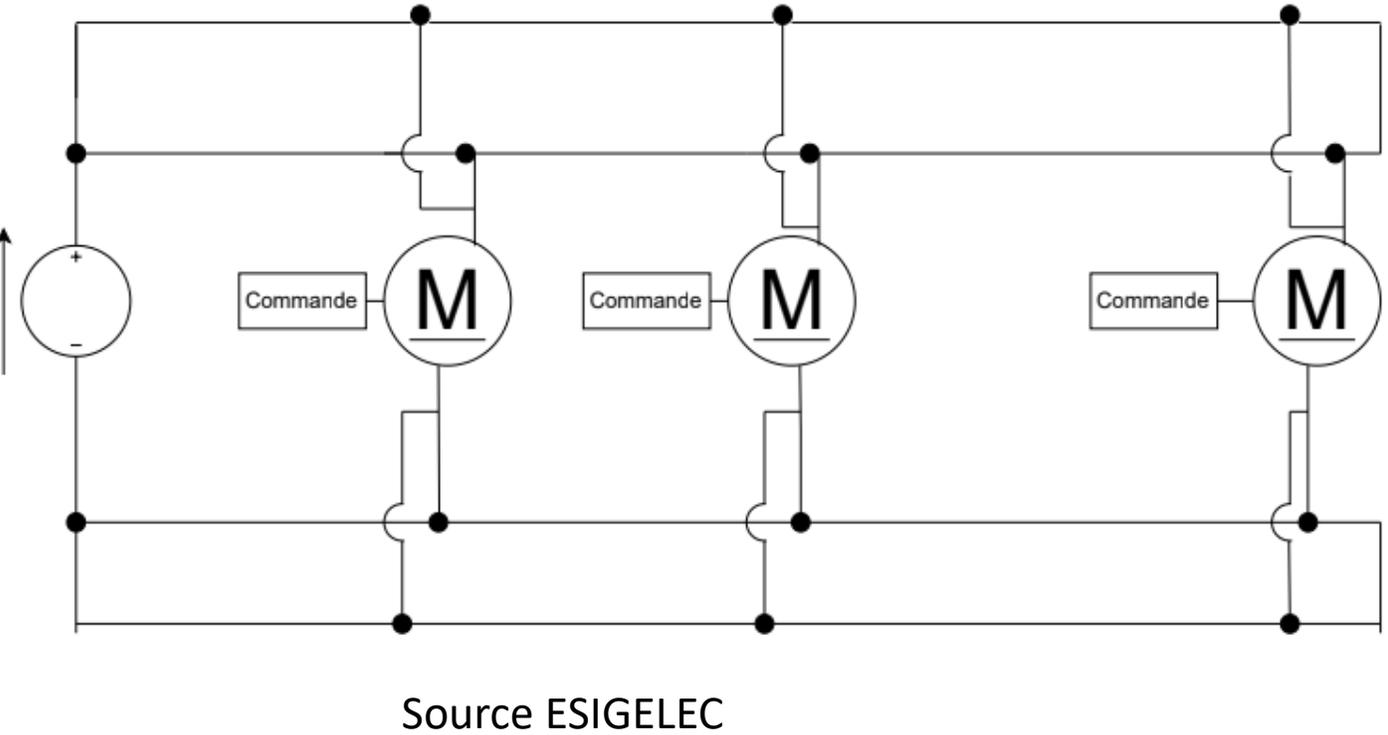
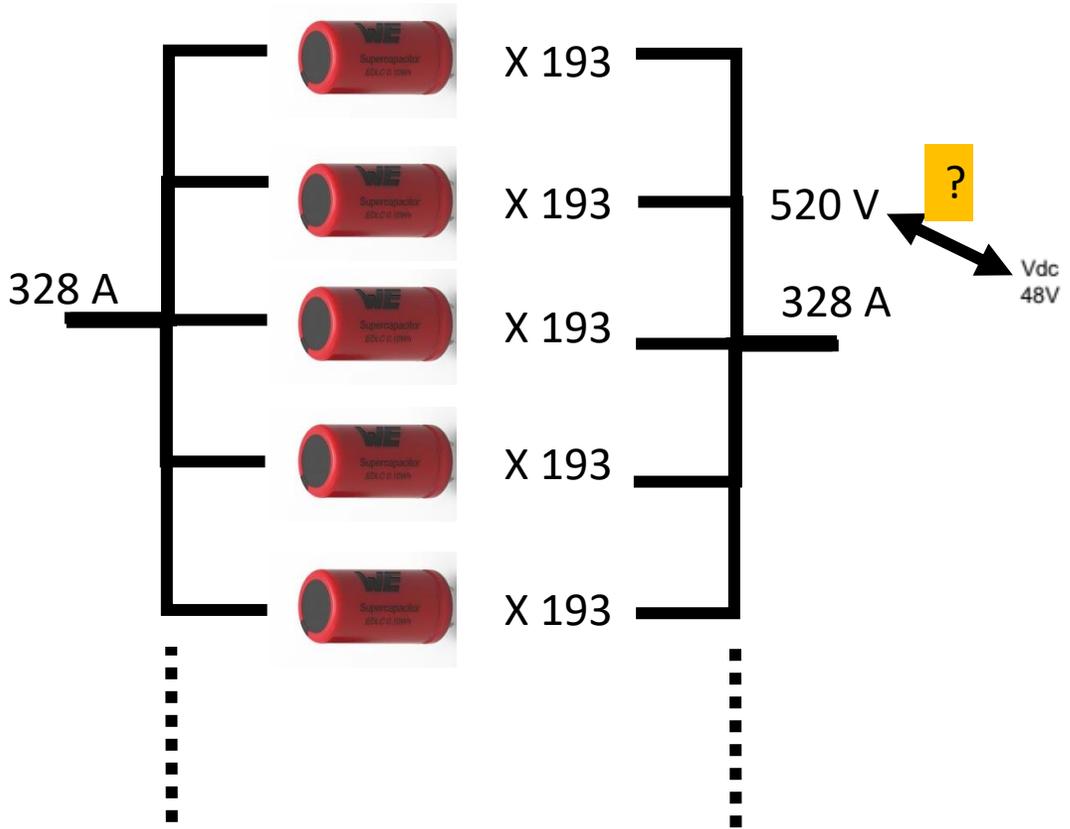
Dimensions boîte pour :	5 branches	6 branches	7 branches	8 branches
Longueur (m)	1,12	1,25	1,37	1,46
Largeur (m)	0,54	0,63	0,67	0,71
Hauteur (m)	0,21	0,21	0,21	0,21



Scale - 1:2

En attente du choix du module  
selon les critères du cahier des  
charges

# Configuration en sortie du module



# Convertisseur de puissance

- Bus DC (direct current)
  - Système de distribution énergétique qui transporte de l'énergie
  - Objectif : faciliter la connexion entre les rotors et les supercondensateurs.  
Mais pourquoi convertir la tension ?
  - Besoin des moteurs : 5 moteurs U12II KV120 en séries de 48V  
=> 240V
  - Choix de l'ESIGELEC : 520V  
Quels **critères** pour choisir ? **Combien** de rotors pour un bus ?

En cours d'étude

# Contrôleur de puissance



Carte de contrôle : STM32



Carte de puissance : Flame 100A HV, adaptée au  
moteur choisi  
ESIGELEC

Liaison entre les capteurs pour  
le contrôle et la chaîne de  
puissance

# Hélices

	G 36*11,5	G 34*11,5	G 30*10,5	NS 30*10	V 30*12
<b>Masse</b>	1	4	5	5	4
<b>Poids</b>	1	5	5	5	5
<b>Surface alaire</b>	3	5	5	5	5
<b>Poussée max</b>	5	5	3	2	1
<b>Total</b>	10	19	18	17	15
<b>Image</b>					

2 jeux de 30 hélices

# Hélices

2 jeux de 30 hélices G34\*11.5

34 pouces de diamètre (soit 86cm) et  
11.5 pouces de pas (soit 28cm)



# Hélices

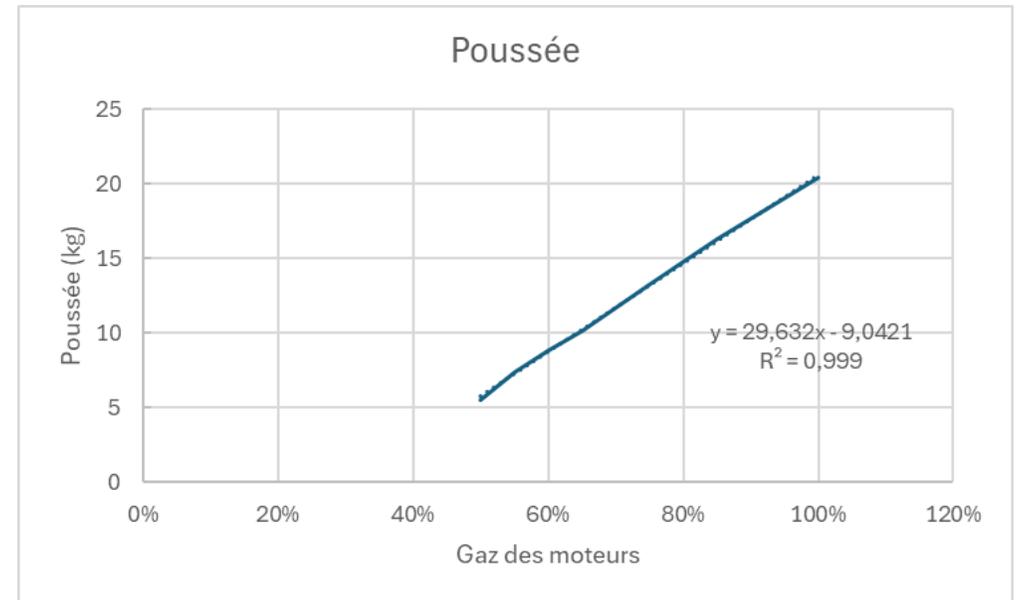
- Fournir une poussée de 750kg avec 60 hélices
- Hélices G 34" 11.5, 750kg on obtient  $\omega = 3125$  tr/min (formule de Abbott)
- Avec un moteur KV 120 on obtient  $V = 26V$ , les BLDC fonctionnent à 48V.

**Valable pour un moteur sans charge, un Mini-Bee en vol stationnaire, à vide et sans vent**

# Hélices : Vol stationnaire

Test ayant pris en compte un moteur avec charge (que la formule d'abbot ne quantifie pas) càd équipé d'hélices :

Moteur	Voltage (v)	Hélice	Gaz	Poussée (G)	Couple (N/M)	Courant (A)	RPM	Puissance (w)	Rendement (G/W)
UI2II 120 KV	48	T-motor G30x10,5CF	50%	5500	1,9	14,5	1548	696	7,9
			55%	7400	2,7	22,5	2971	1080	6,85
			60%	8800	3,2	28,3	3202	1358,4	6,48
			65%	10200	3,8	34,6	3430	1660,8	6,14
			75%	13300	5	49,2	3882	2361,6	5,63
			85%	16300	6,2	66,4	4256	3187,2	5,11
			100%	20400	7,9	94,3	4742	4526,4	4,51



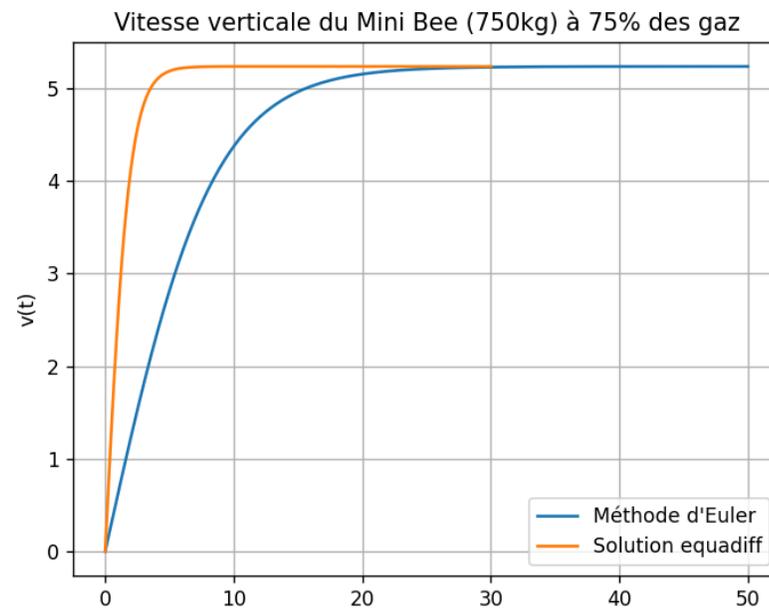
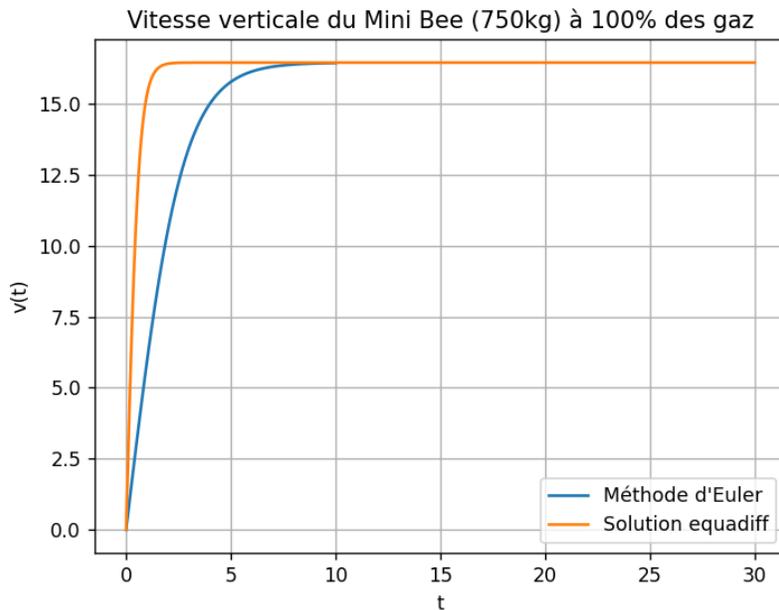
Fonctionne pour la G30 mais aucune donnée sur la G34.  
A tester manuellement ?

Les G34 sont-elles vraiment nécessaires ?

# Hélices : Vol vertical

$$m \frac{dv}{dt} = -mg + F_p - \rho \frac{1}{2} v^2 S C_z$$

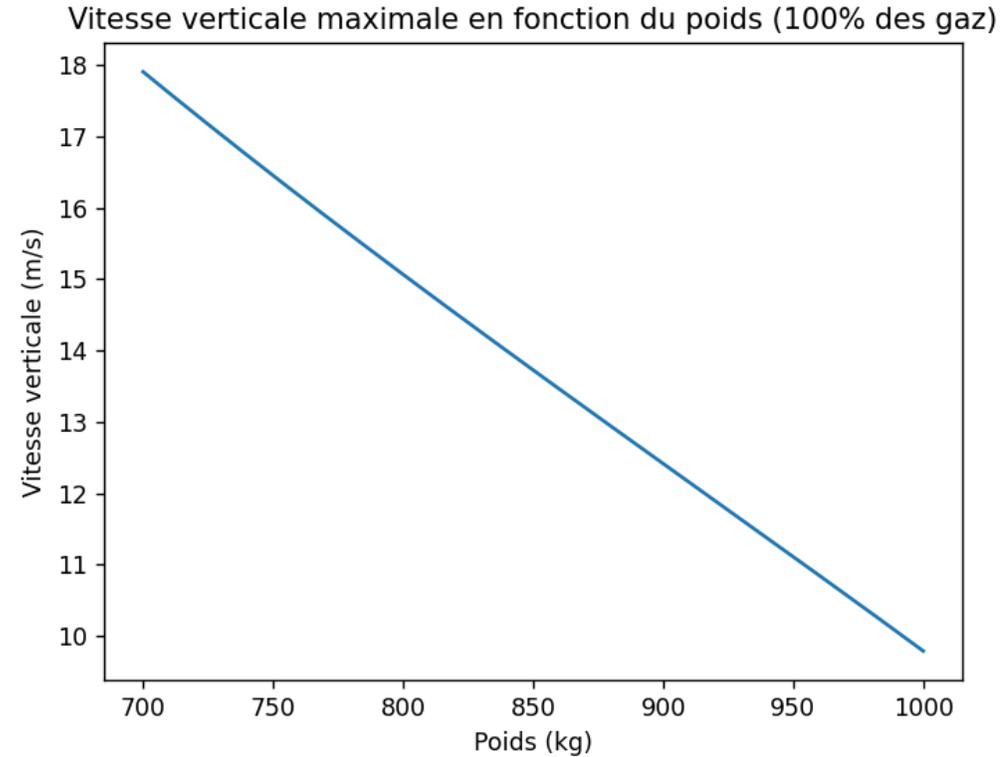
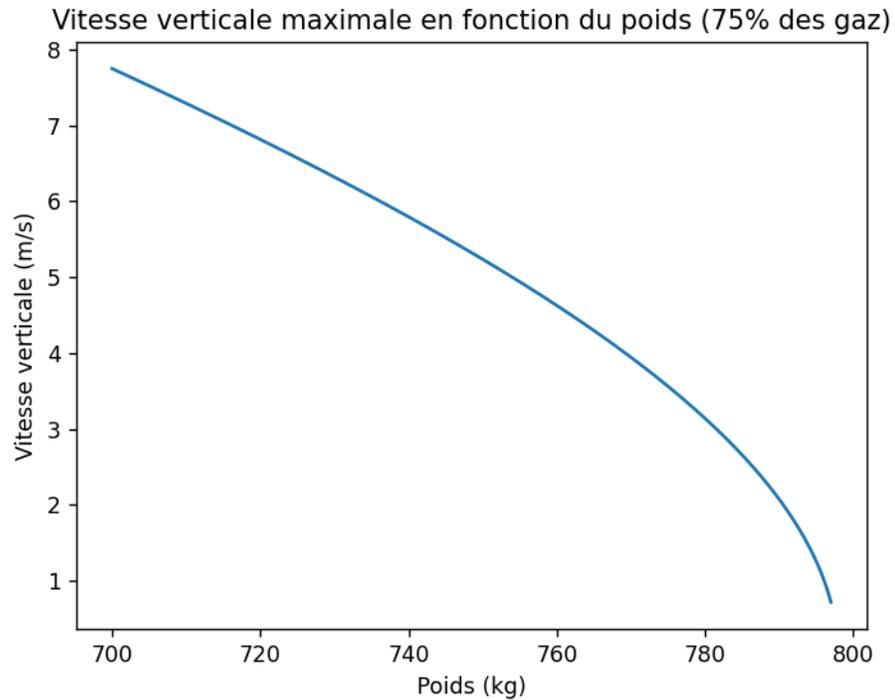
**Solution :**  $v(t) = V_0 \tanh\left(\frac{tV_0}{g}\right)$ , avec  $V_0 = \sqrt{\left(\frac{F_p}{m} - g\right) \frac{2m}{S C_z \rho}}$



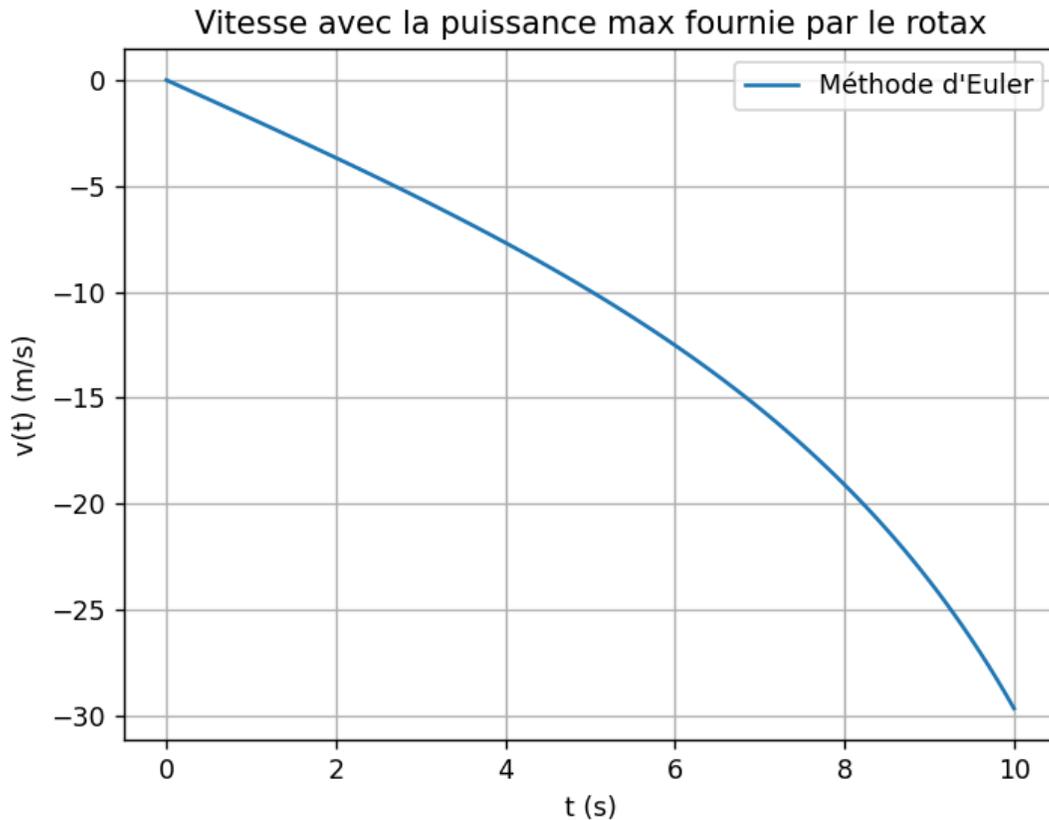
$S = 35\text{m}^2$

Est-ce qu'on prend la bonne surface ? Valeur exacte ?

# Hélices : Vol vertical



# Hélices : Vol vertical



## Hypothèses :

- $S=15m^2$
- $M = 750kg$
- $P_{max} = 104kW$  donc  $1733W$  par rotor => environ 65% des gaz

Gaz	Poussée (G)	Puissance (W)
50%	5500	696
55%	7400	1080
60%	8800	1358,4
65%	10200	1660,8
75%	13300	2361,6

Ca ne vole pas (avec les hélices G30)

# Hélices : Vol horizontal

Equation différentielle :

$$m \frac{dv}{dt} \vec{u}_y = F_p (\cos(\alpha) \vec{u}_y + \sin(\alpha) \vec{u}_z) - mg \vec{u}_z - \frac{\rho}{2} v^2 S(\alpha) C_z \vec{u}_y \quad S = 15m^2$$

**Projection :**

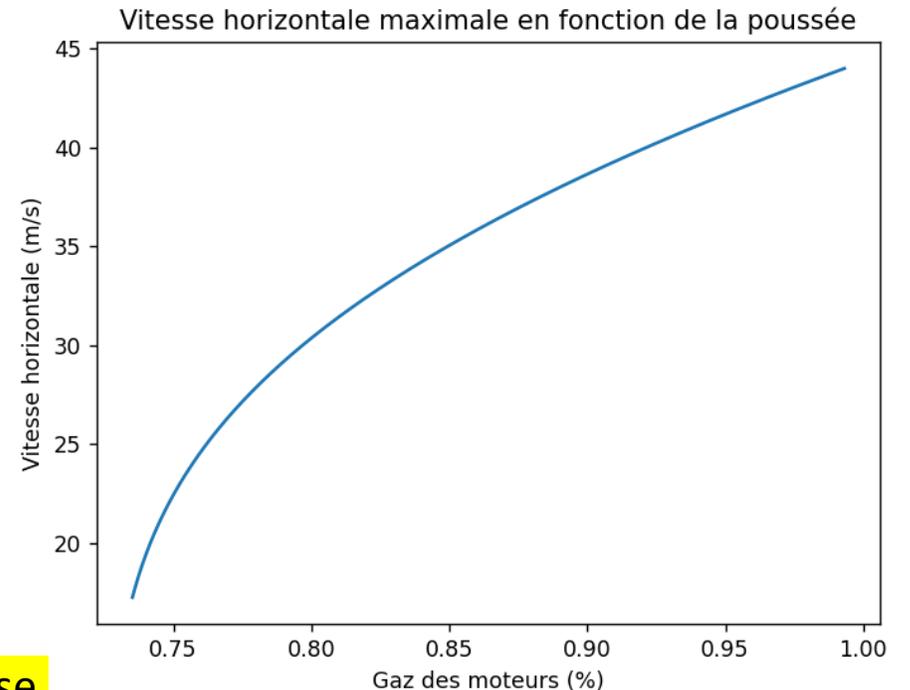
$$\begin{cases} F_p \sin(\alpha) = mg \\ \frac{dv}{dt} + \frac{\rho}{2} v^2 S(\alpha) = \frac{F_p}{m} \cos(\alpha) \end{cases}$$

**Solution :**

$$\begin{cases} F_p \sin(\alpha) = mg \\ v(t) = V_0 \tanh\left(\frac{tV_0}{g}\right), \quad \text{avec } V_0 = \sqrt{\left(\frac{2F_p}{S(\alpha)C_z\rho}\right) \cos(\alpha)} \end{cases}$$

$$\text{Soit } V_0 = \sqrt{\left(\frac{2F_p}{S(\alpha)C_z\rho}\right) \cos\left(\arcsin\left(\frac{mg}{F_p}\right)\right)}$$

Faudrait faire plutôt/aussi une vitesse maximale en fixant alpha = 10° donc à Fp constant



# Hélices : Vol quelconque

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = F_p (\cos(\alpha) \sin(\beta) \vec{u}_x + \cos(\alpha) \cos(\beta) \vec{u}_y + \sin(\alpha) \vec{u}_z) - mg \vec{u}_z - \frac{\rho}{2} v S(\alpha) C_z \vec{v}$$

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = F_p \cos(\alpha) \sin(\beta) - \frac{\rho}{2} \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} S(\alpha, \beta) v_x \\ m \frac{dv_y}{dt} = F_p \cos(\alpha) \cos(\beta) - \frac{\rho}{2} \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} S(\alpha, \beta) v_y \\ m \frac{dv_z}{dt} = F_p \sin(\alpha) - mg - \frac{\rho}{2} \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} S(\alpha, \beta) v_z \end{cases}$$

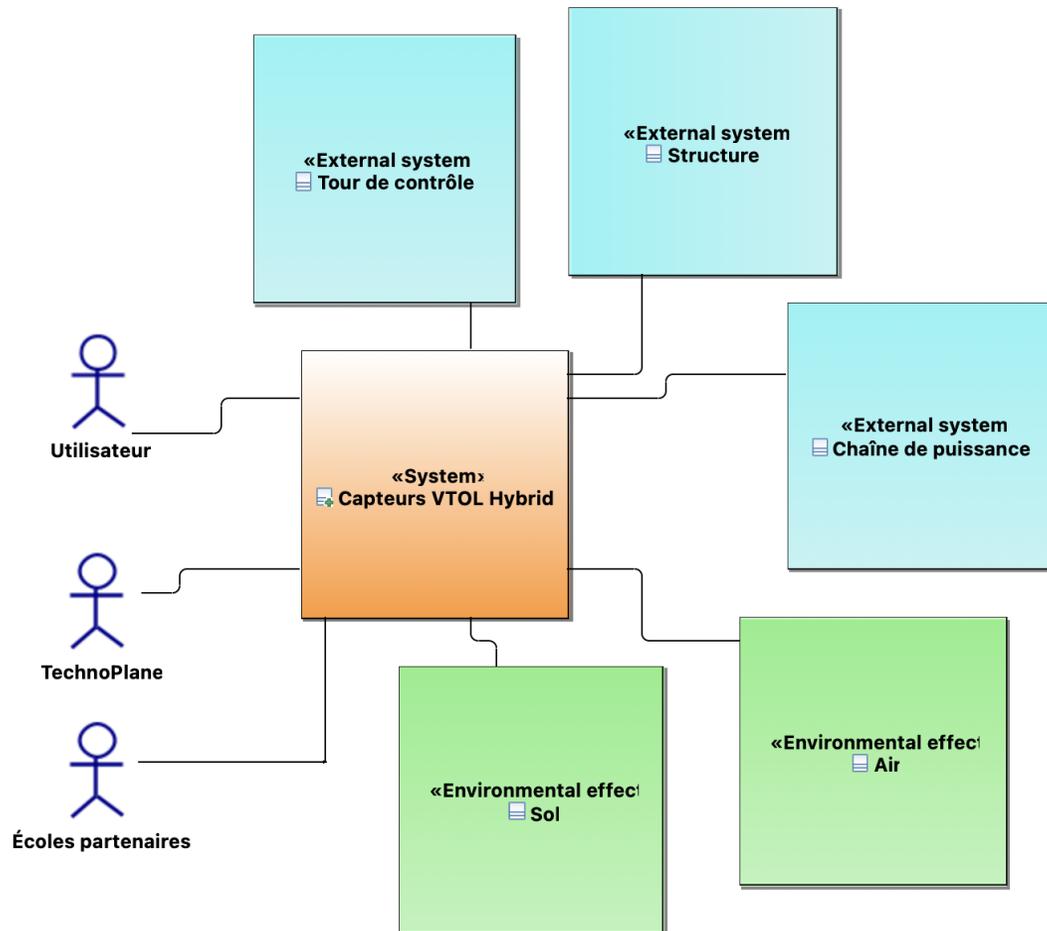
# Hélices : Vol quelconque

# Branchement électrique des rotors

Finir la configuration de la chaîne avant

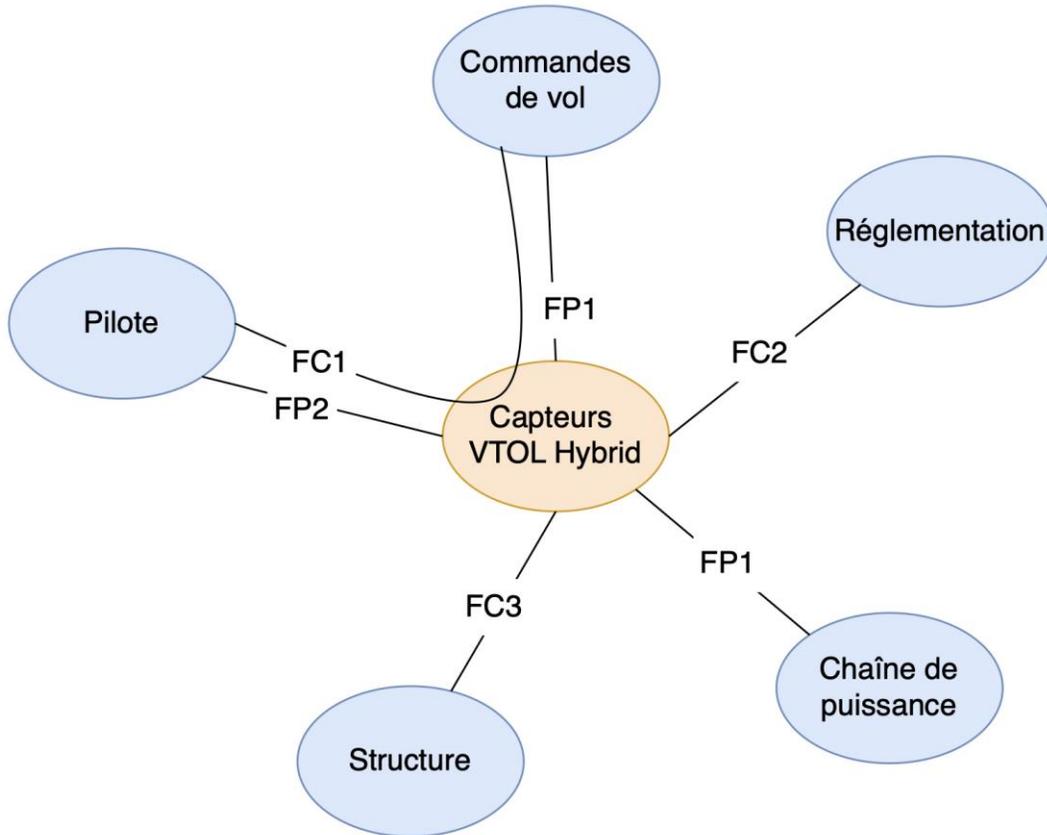
# Pôle Capteurs

# Diagramme de contexte



Acteurs et systèmes externes	Description
Utilisateur (pilote)	L'utilisateur qui pilote le VTOL.
TechnoPlane	Fabricant du VTOL Hybrid.
Écoles partenaires	Groupes de projet collaborant sur le Mini-Bee.
Chaîne de puissance	Chaîne de puissance/motorisation qui permet au VTOL de se déplacer.
Structure	La structure métallique sur laquelle les différents composants sont fixés.
Air	Air extérieur, dont la température et la pression peuvent varier.
Sol	Sol sur lequel le VTOL est susceptible de se poser ou de survoler.
Tour de contrôle/équipements radio	Équipements et personnes pouvant communiquer par radio avec le VTOL.

# Analyse fonctionnelle



FP1	Fournir les données essentielles au fonctionnement du Mini-Bee.
FP2	Permettre de piloter le Mini-Bee.
FC1	Utiliser un joystick et un volant.
FC2	Respecter les réglementations en vigueur dans les pays où le Mini-Bee sera déployé pour y être homologué.
FC3	S'inscrire dans la structure du Mini-Bee.

# Exigences

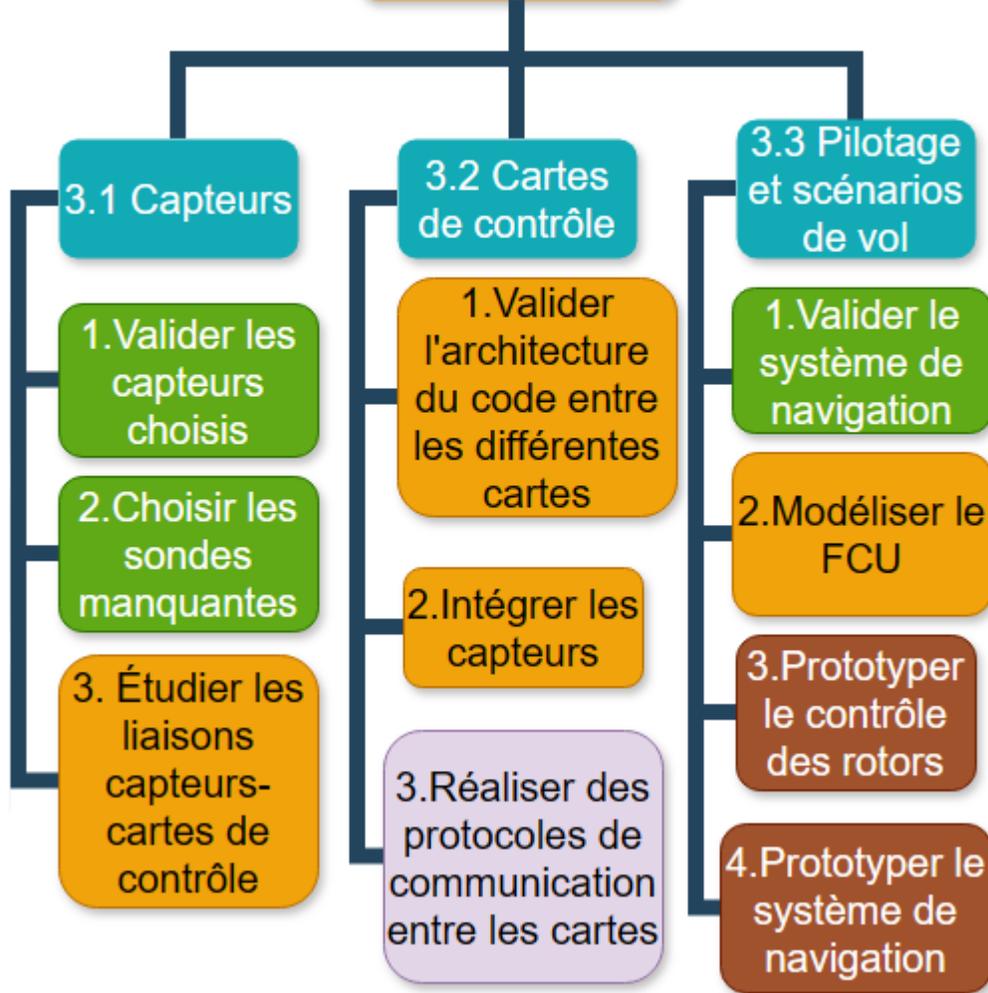
Id	Description	Acteur émetteur
1	Les capteurs doivent être peu chers.	TechnoPlane
2	Les capteurs doivent fournir les données essentielles au pilotage du VTOL Hybrid.	Utilisateur
3	Les capteurs doivent être résistants aux conditions extérieures.	Utilisateur/TechnoPlane
4	Les capteurs et leurs données sortantes doivent être faciles à exploiter par le pilote.	Utilisateur
5	Les commandes de bord doivent être intuitives et faciles à utiliser.	Utilisateur
6	Les commandes de bord doivent comporter un volant et un Joystick.	Utilisateur
7	Les capteurs doivent respecter les normes nécessaires à la certification du VTOL dans les pays cibles.	TechnoPlane

# Objectifs

- Réaliser un état de l'art
- Vérifier que les capteurs retenus précédemment conviennent
- Intégrer l'ensemble des capteurs choisis
- Modéliser le FCU (lois de commande, prototype du système de navigation et du contrôle des moteurs...) en concomitance avec Estaca

# WBS

## 3. Capteurs



Lot en cours de réalisation  
 Lot réalisé

Lot qui sera réalisé si le temps le permet  
 Lot non débuté

# Matrice RACI

Tâches	Description	N.G	M.C	C.C	L.O	V.D	M.K	X.D	K.M	A.EK
3.1 Capteurs	3.1.1 Valider les capteurs choisis	R	I	I	I	I	I	A/C	C	C
	3.1.2 Choisir les sondes manquantes	R	I	I	R	I	I	A/C	C	C
	3.1.3 Liaison capteurs-cartes de contrôle	I	R	I	R	I	I	A/C	C	C
3.2 Cartes de contrôle	3.2.1 Intégrer les capteurs	R	I	I	R	I	I	A/C	C	C
	3.2.2 Valider l'architecture du code entre les cartes	I	R	I	I	I	I	A/C	C	C
	3.2.3 Définir et réaliser les protocoles de communication entre les cartes	R	R	I	I	I	I	A/C	C	C
3.3 Pilotage et scénarios de vol	3.3.1 Choisir et valider les composants du système de navigation	I	I	I	R	I	I	A/C	C	C
	3.3.2 Modéliser le FCU	I	I	R	I	I	I	A/C	C	C
	3.3.3 Réaliser un prototype du système de navigation	R	R	R	R	I	I	A/C	C	C
	3.3.4 Réaliser un prototype du contrôle des rotors	R	R	R	R	I	I	A/C	C	C

N.G : Nathan GARCENOT

M.C : Maxime CARRAZE

C.C : Clément CADORET

L.O : Léo Oudart

V.D : Victor DAVIAUD (respo Structure)

M.K : Martin KOEBEL (respo Elec de Puis.)

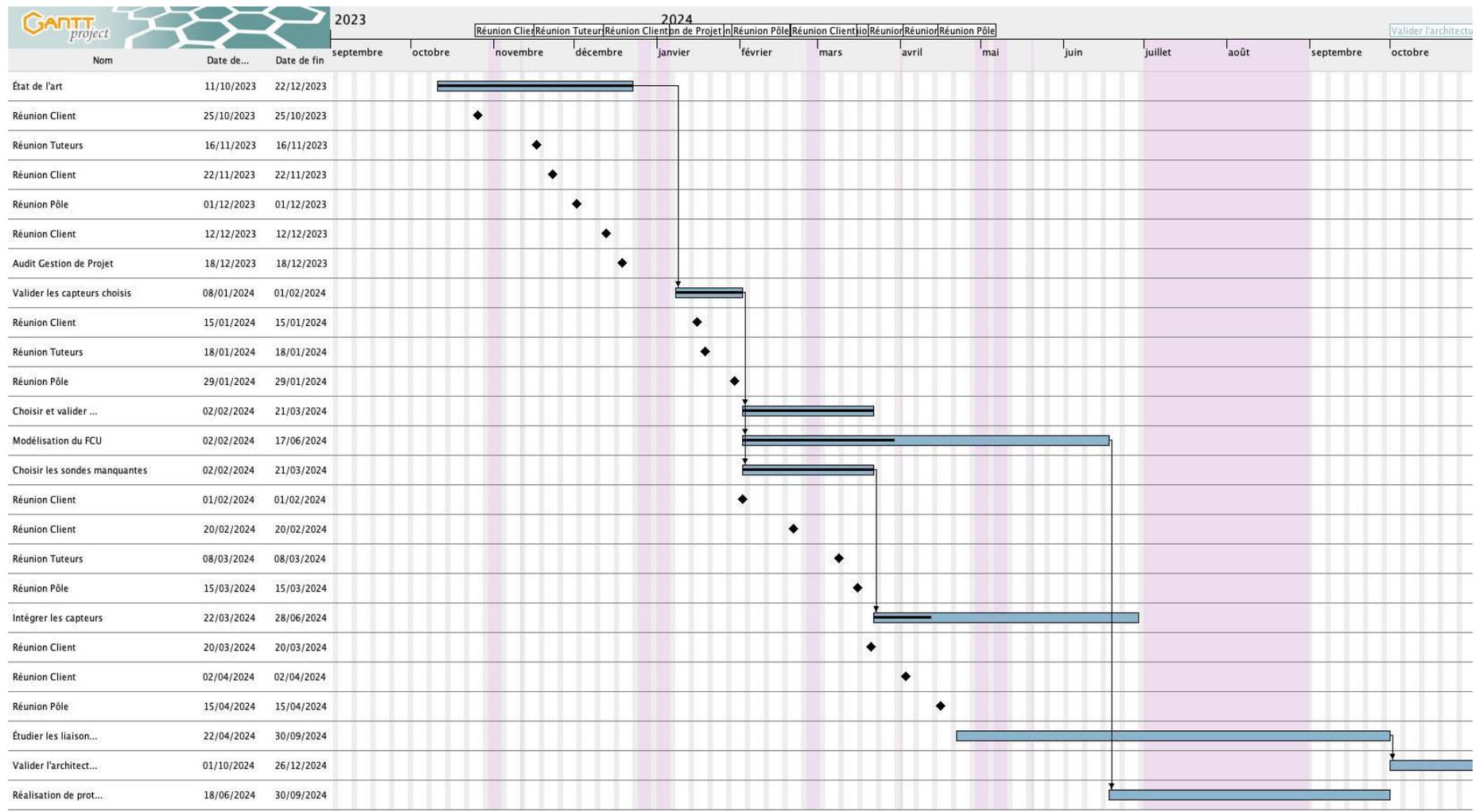
X.D : Xavier DUTERTRE

K.M : Khaled MESGHOUNI

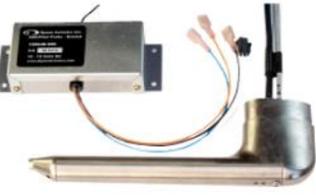
A.EK : Abdelkader EL KAMEL

R	Réalisateur
A	Autorité
C	Consulté
I	Informé

# Gantt du pôle

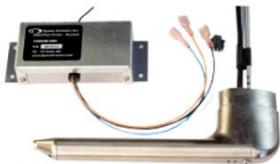


# Composants retenus

Mini Bee			
Instruments de vol	Commandes de vol	Cartes de contrôle	Sondes
<b>Strict minimum</b>			
 <p>Mini Daqu</p>  <p>Emsis 80 et HARS</p>	 <p>Joyu &amp; Boyu</p>  <p>Volan Technomap</p>	 <p>STM32F401RE MCU</p>	 <p>Sonde de température</p>
<b>Instruments supplémentaires</b>			
 <p>Digi</p>  <p>Indu Round Indicators</p>	 <p>Autopilot</p> 	 <p>X-NUCLEO-IKS02A1</p>	 <p>Sonde Pitot</p>

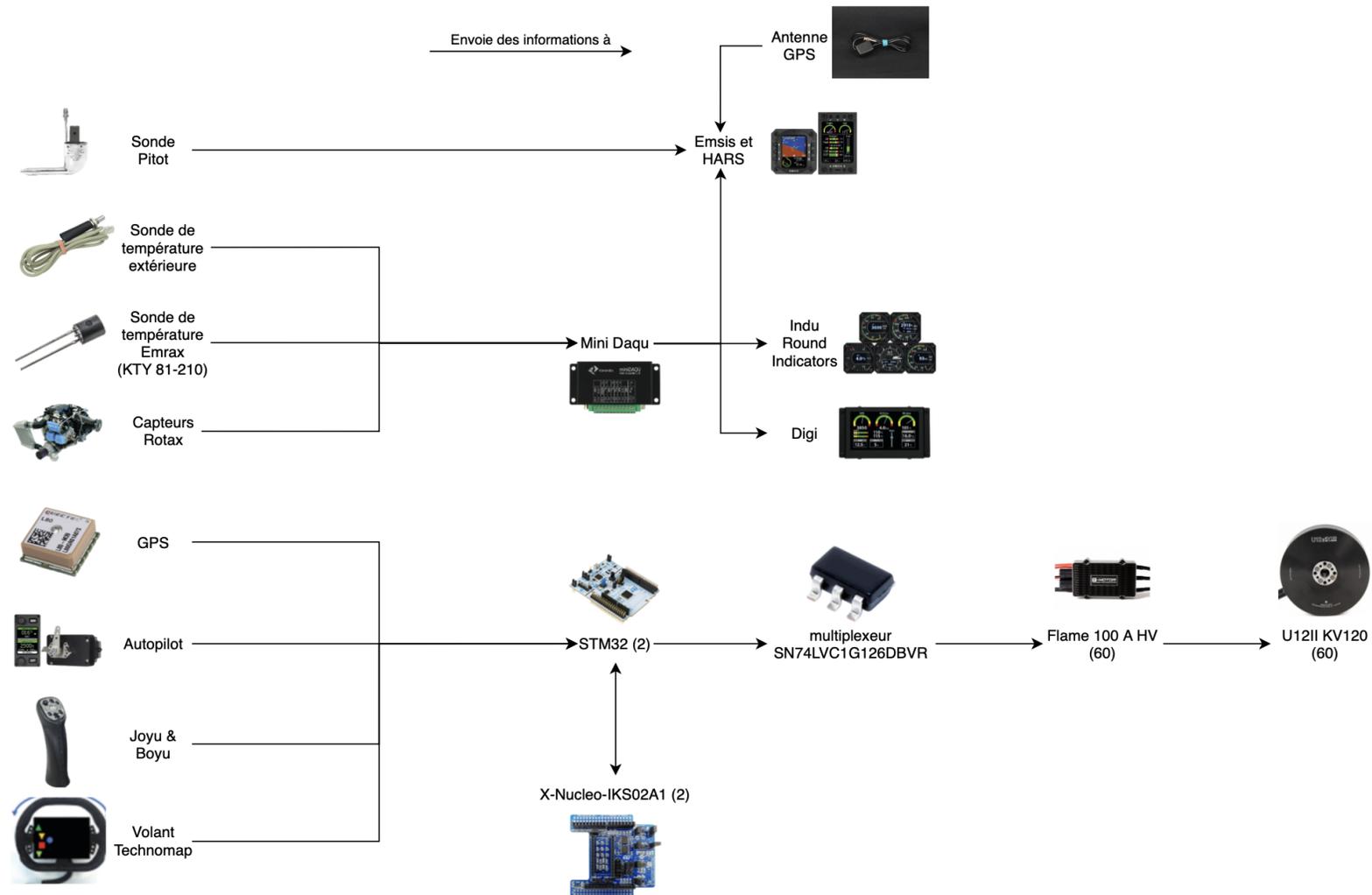
On y ajoute une antenne GPS Kanardia

# Ensemble des capteurs du Mini-Bee

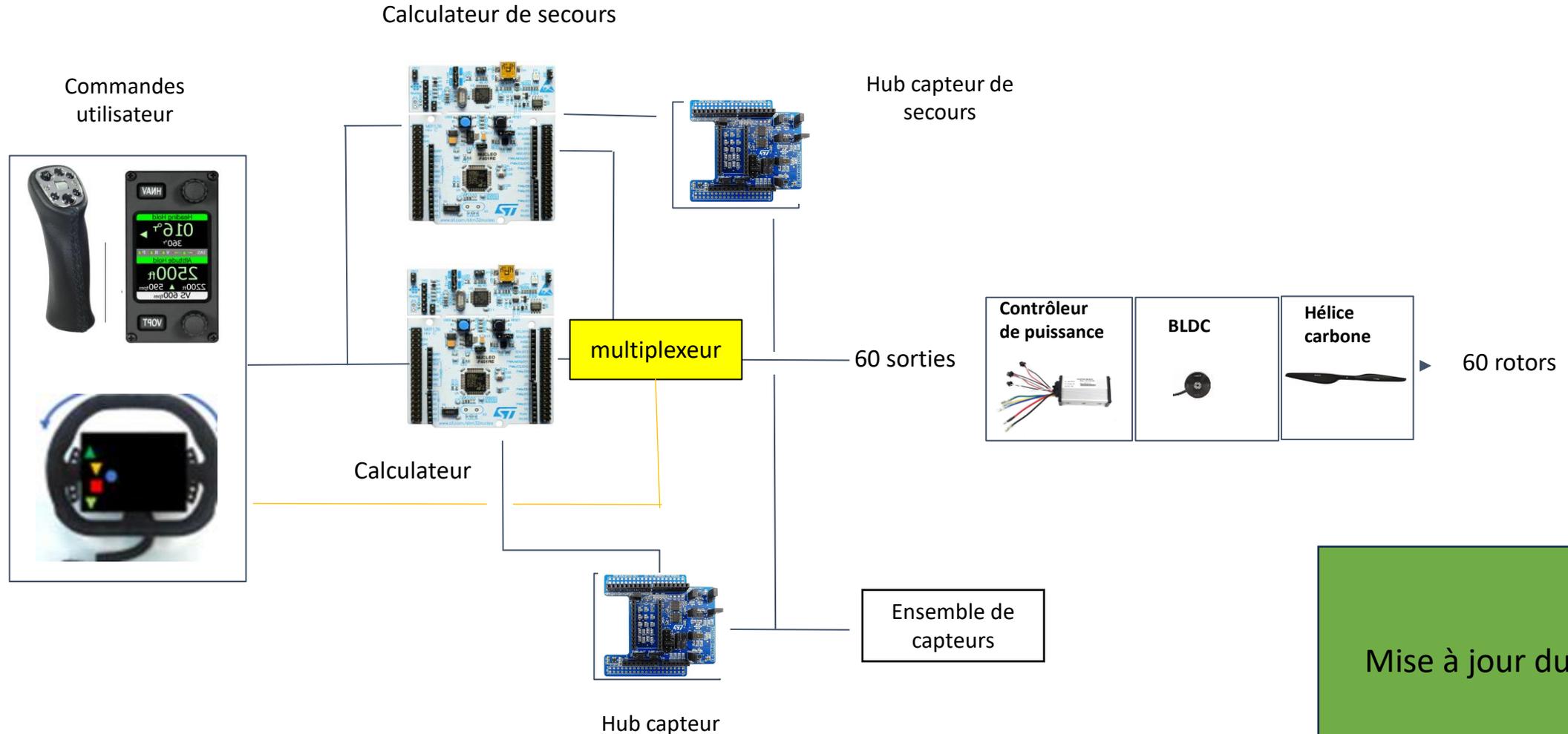
Mini Bee			
<p><b>X-NUCLEO-IKS02A1</b> 24,3g - 24,76\$</p>  <p>ISM330DHCX MEMS 3D accelerometer plus 3D gyroscope</p>  <p>IIS2MDC MEMS 3D magnetometer</p>  <p>IIS2DLPC MEMS 3D accelerometer low power</p>  <p>IMP34DT05 MEMS digital omnidirectional microphone</p>	<p><b>STM32F401RE MCU</b> 46,3g - 13,55\$</p>  <p>Contient un capteur de température fonctionnant de -40 à +125°C. Celui-ci ne peut pas être utilisé pour mesurer précisément la température mais peut l'être pour mesurer des différences de température.</p>	<p><b>Rotax 915IS</b> 84kg - 40 000\$ minimum</p>  <p>Contient :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un capteur de température d'huile</li> <li>- un capteur de pression d'huile</li> <li>- deux capteurs de pression d'admission d'air</li> <li>- un capteur de température dans le réservoir d'expansion</li> <li>- deux capteurs de position du vilebrequin</li> <li>- un capteur de cliquetis</li> <li>- deux capteurs de température de gaz d'échappement</li> </ul>	<p><b>Capteur de température Kanardia</b> 85g - 50€</p> 
	<p><b>KTY 81-210</b> 0,2g - 1,66€</p>  <p>Sera utilisé pour mesurer la température du convertisseur mécanique-électrique Est présent dans les Emrax</p>	<p><b>Quectel L80-M39 GPS Receiver</b> 6g - 14,85€</p>  <p>Proposé par SQY</p>	<p><b>Sonde Pitot Dynon</b> 330g - 517€</p> 

Auquel on ajoute le kit Rotax de Kanardia

# Liens entre les composants



# Composants de la chaîne de contrôle



Mise à jour du schéma

# Proposition de multiplexeur

**SN74LVC1G126DBVR**




Les images sont fournies à titre indicatif  
Voir les caractéristiques du produit

[Partager](#)

Comparer un produit

N° Mouser :	595-SN74LVC1G126DBVR
N° de fab. :	SN74LVC1G126DBVR
Fab. :	<a href="#">Texas Instruments</a>
N° client:	<input type="text" value="N° client"/>
Description :	Tampons et circuits d'excitation Single Bus Buffer
Fiche technique:	<a href="#">SN74LVC1G126DBVR Fiche technique</a>
Modèle de ECAO:	 Symbole PCB, empreinte et modèle 3D

Téléchargez gratuitement le [chargeur de bibliothèque](#) pour convertir ce fichier pour votre outil ECAD. [En savoir plus sur le modèle ECAD.](#)

[Ajouter au projet](#) | [Ajouter des notes](#)

## [Documentation](#)

Site du vendeur de [SN74LVC1G126DBVR](#)

Poids de l'unité : 42 mg

Il en faudrait 60 (pour chacun des signaux vers les contrôleurs de puissance) donc **2,520 g** au total

### Prix (EUR)

Qté.	Prix unitaire	Ext. Prix
<b>Ruban à découper / MouseReel™ †</b>		
1	0,288 €	0,29 €
10	0,198 €	1,98 €
100	0,086 €	8,60 €
1 000	0,059 €	59,00 €
<b>Bobine complète(s) (commandez en multiples de 3000)</b>		
3 000	0,047 €	141,00 €
9 000	0,039 €	351,00 €
24 000	0,037 €	888,00 €
99 000	0,03 €	2 970,00 €

† Les frais pour 5,00 € MouseReel™ seront calculés et ajoutés à votre panier. Les commandes MouseReel™ ne peuvent être ni annulées ni retournées. ↩

# Vibration des hélices

Un contrôle régulier des hélices permet de repérer les vibrations et réaliser le réglage nécessaire, ou remplacer les hélices et/ou les moteurs concernés.

Les hélices choisies sont sensibles à la chaleur et à l'humidité.

[Lien manuel de maintenance Robinson R22](#)

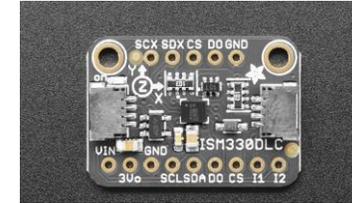
## ROBINSON MAINTENANCE MANUAL R22 SERIES

TABLE 1 SCHEDULED INSPECTIONS  Consult latest revision of listed publications for specific applicability.	First 25 hours	First 100 hours	Every 50 hours	Every 100 hours	Every 300 hours	Every 500 hours	Every 800 hours	Every 2200 hours	Every 4 months	Every 12 months	Every 4 years	Every 5 years	Every 12 years
	Perform inspection per Lycoming Operator's Manual.*	•		•	•	•							
Perform <b>Lycoming SB 480</b> <i>I. Oil &amp; Filter Change &amp; Screen Cleaning / II. Oil Filter/Screen Content Inspection.</i> <i>NOTE: Oil filters on D723-1 adapters do not require safety wire.</i>	•		•						•				
Perform <b>Lycoming SI 1129</b> <i>Methods of Checking DC Alternator and Generator Belt Tension.</i>	•			•									
Perform <b>Lycoming SB 301*</b> <i>Maintenance Procedures and Service Limitations for Valves.</i>		•			•								
Perform <b>Lycoming SB 388*</b> (also applies to replacement cylinders) <i>Procedure to Determine Exhaust Valve and Guide Condition.</i>		•			•								
Perform <b>Lycoming SB 366, as applicable</b> <i>Carburetor Throttle Body Screw Inspection.</i>			•										
Perform <b>Lycoming SI 1191</b> <i>Cylinder Compression.</i>				•									
Perform <b>CMI SB 643, as applicable</b> <i>Maintenance Intervals for All CMI/TCM/Bendix Magnetos &amp; Related Equipment.</i>				•		•						•	•
Perform 100-hour/annual inspection per § 2.400.				•						•			
Perform main rotor blade tip maintenance per § 26-60.				•						•			
Lubricate A181-4 Revision K, L, and M bearings per § 22-42.					•					•			
Lubricate A184 bearing per § 22-41.					•					•			
Clean gearbox chip detectors per §§ 22-11 & 22-21.						•				•			
Perform <b>CMI SB 663</b> <i>Two-Wire Magneto Tach. Breaker Contact (Points) Assy. P/N 10-400507.</i>						•							
Perform clutch assembly lubricant inspection & servicing per § 22-30.						•							
Drain and flush gearboxes per §§ 22-13 & 22-23.						•							
Perform FAA AD 88-26-01 R2 (A158-1 spindles only).						•							
Lubricate A181-4 Revision N and subsequent bearings per § 22-42.							•				•		
Perform 2200-hour/12-year inspection per § 2.600.								•					•

\* Gray square indicates a shorter interval than published on referenced document.

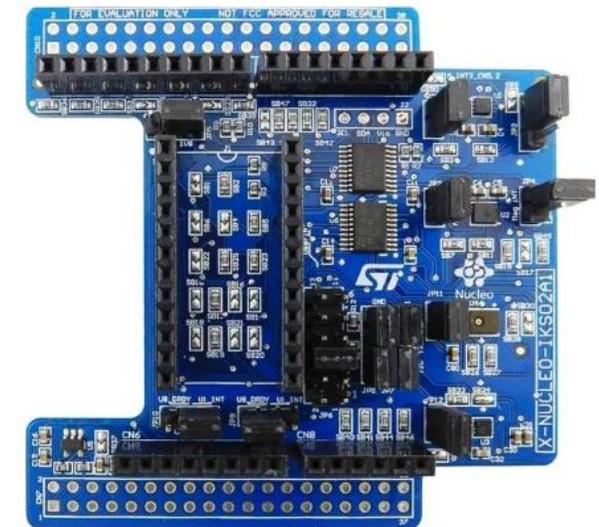
# Carte X-NUCLEO-IKS02A1

- Plusieurs capteurs MEMS sur une carte :
  - Accéléromètre IIS2DLPC
  - Gyroscope ISM330DHCX
  - Magnétomètre IIS2MDC
  - Microphone IMP34DT05



Deux cartes NUCLEO prévues dans le système

- 24 pins disponible par carte MAIS utilise les 76 pins de la STM



# Débat pins STM32 + X-Nucléo

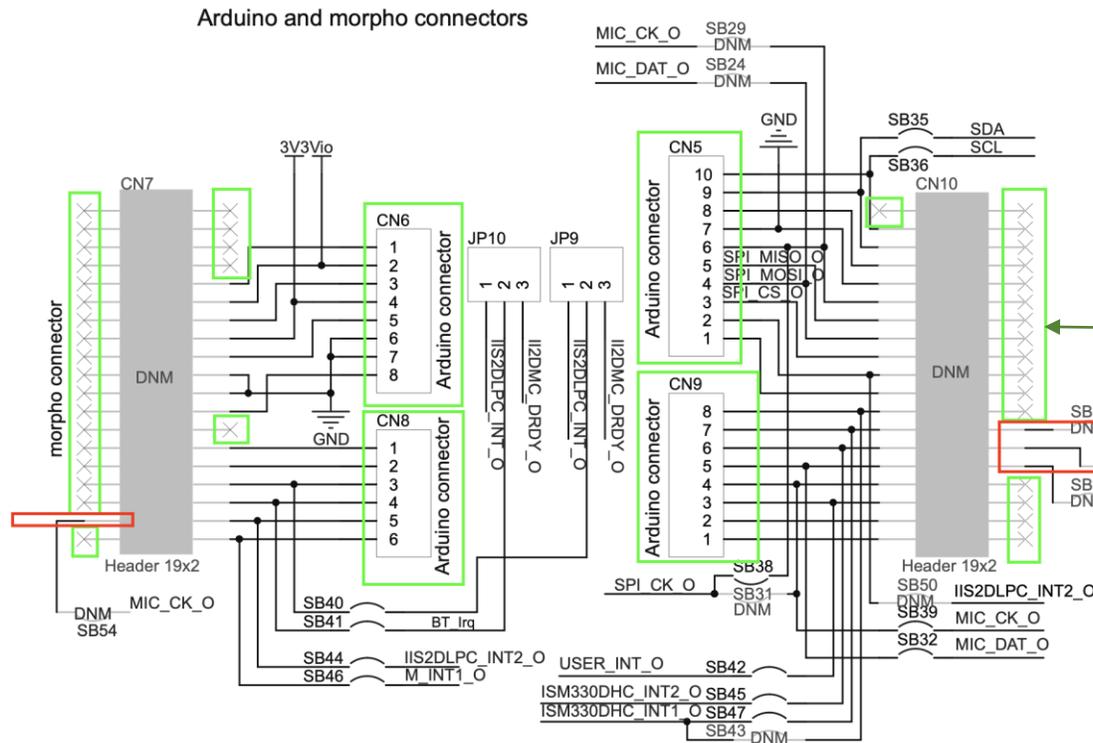


Schéma issu du manuel d'utilisation de la carte X-NUCLEO-IKS02A1

Les pins que l'on pense laissés libre par la nucléo

Les pins que l'on pense occupées par la nucléo

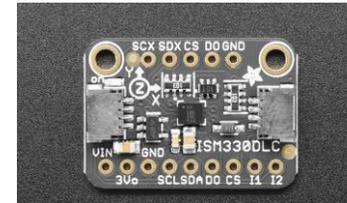
Au total on aurait 3 pins utilisés sur les 76 de la STM32 avec 24 pins DIL en plus sur la X-Nucleo

[https://www.youtube.com/watch?v=EZ9jxS5A9\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=EZ9jxS5A9_s)

Vidéo montrant l'utilisation de 2 pins (5:50)

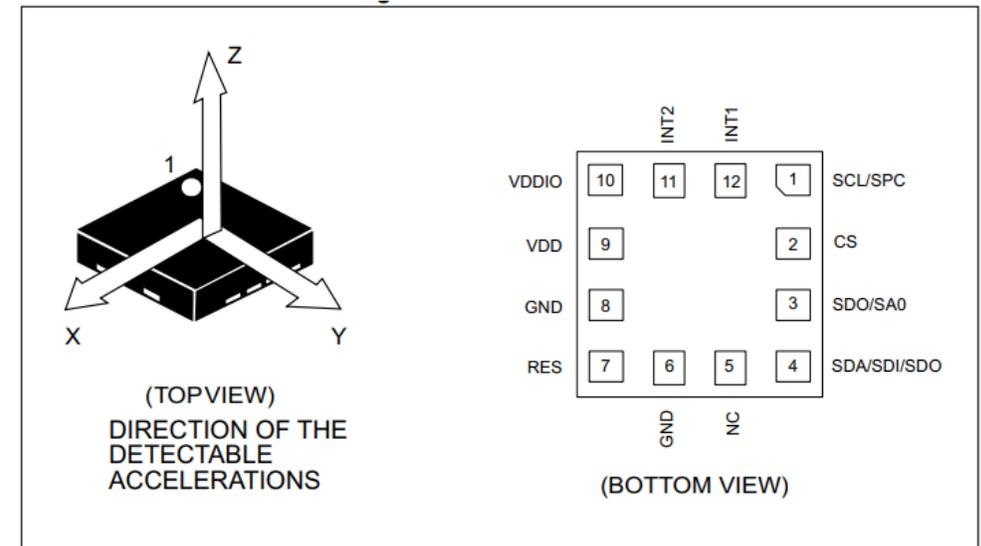
# Capteur MEMS IIS2DLPC Accéléromètre

- Accéléromètre linéaire 3 axes
- Très faible puissance consommée
- Interface digitale
- Technologie MEMS (Micro-usinage, capteurs très petits)
- Différents modes (haute-performance / faible puissance) changeable en vol
- FIFO intégré pour stocker les données en vol (32bits)
- Températures de fonctionnement : -40 à 85°C



**ATTENTION à L'ALTITUDE : NE PAS SORTIR DES LIMITES DE TEMPERATURE**

**Pas de risque dans des conditions de température normales et dans les pays cibles**



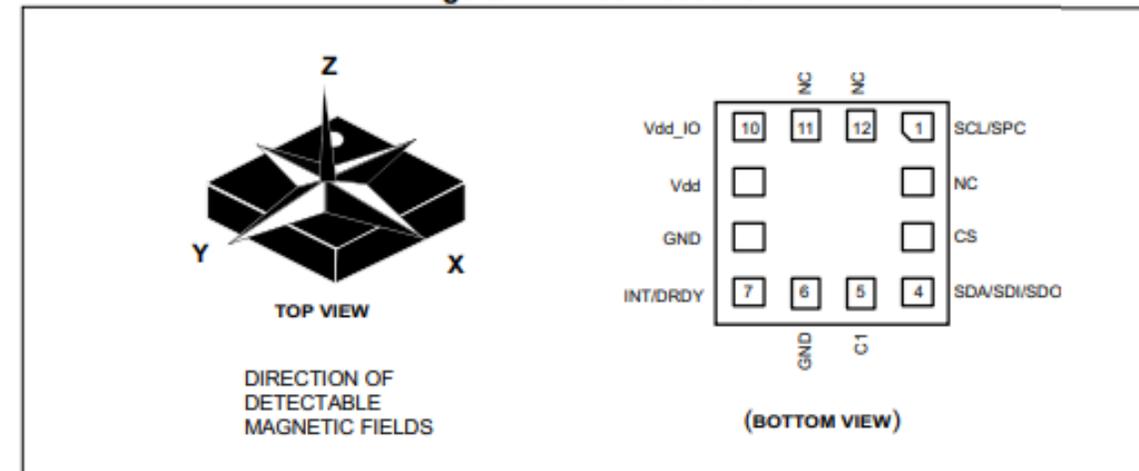
# Capteur MEMS IIS2MDC Magnétomètre

- Mesure de variation de champs magnétiques (Déecteur de fuite, mesure de l'inertie, détecteur de présence)
- Faible consommation de puissance et technologie MEMS
- Plusieurs interfaces série de communication
- Détection sur 3 axes
- Utilisation entre  $-40$  et  $+85^{\circ}\text{C}$



**ATTENTION à L'ALTITUDE : NE PAS SORTIR DES LIMITES DE TEMPERATURE**

**Pas de risque dans des conditions de température normales et dans les pays cibles**

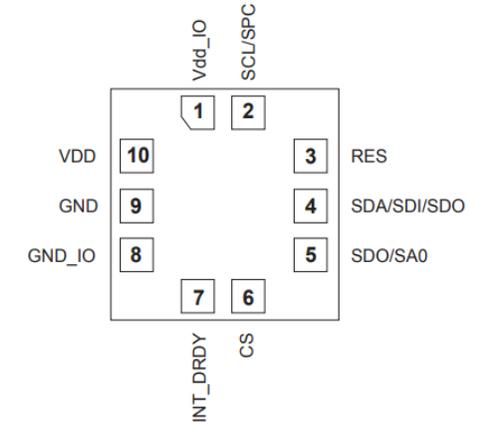
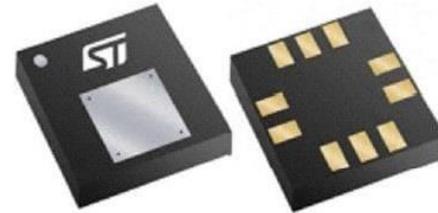


# Baromètre et capteur de température

Baromètre LPS22DF, compatible

avec la carte NUCLEO

On y préfère une sonde Pitot.



Capteur de température KTY 81-210 pour

mesurer la température du convertisseur

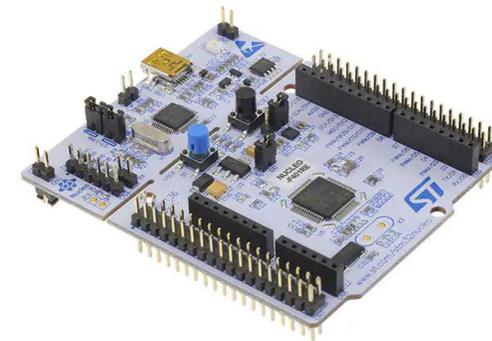
mécanique-électrique

**Les capteurs choisis sont  
compatibles avec la carte  
NUCLEO**



# Calculateur carte STM32 Nucleo-64

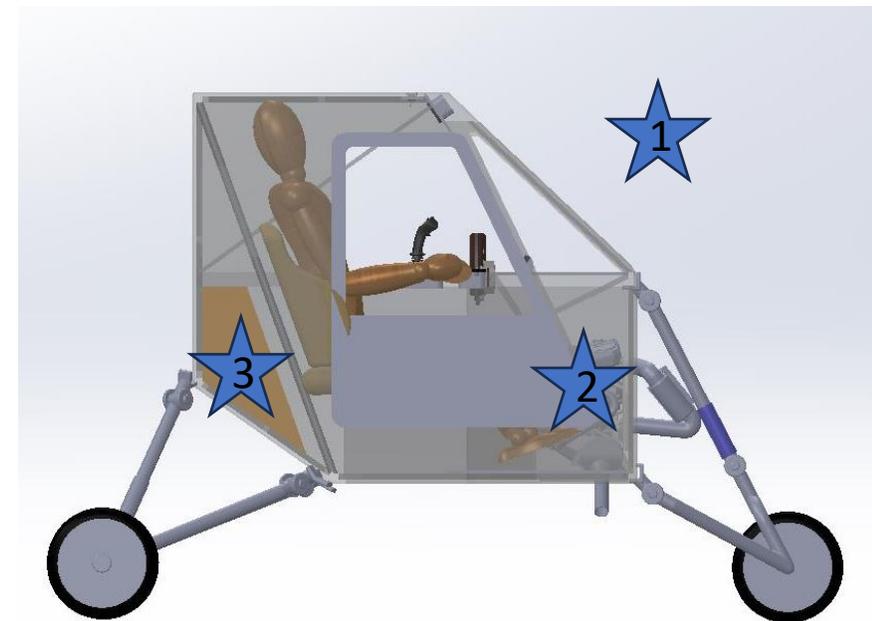
- 2 cartes sur le système
- Chaque carte contrôle 30 rotors, 5 sorties par carte (6 rotors)
- Les 2 cartes communiquent par UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)
- Protocole de communication série utilisée pour transférer des données entre deux dispositifs électroniques et testé par CY-tech
- Connecte les capteurs, le système de commande, et l'électronique de puissance
- Contient un thermomètre
- 512 kBytes mémoire flash / 96 kBytes de RAM / 64 pins



# Capteurs de température nécessaires

- TAT (Total Air Temperature) ou OAT (Outside Air Temperature) (1)
- **Température d'huile moteur (capteur déjà présent dans l'EMRAX) (2)**
- **Optionnel** : température carburant (SP98, point de congélation  $< -80$  °C ),  $T_{\text{carburant}}$  sera égale à TAT (3)

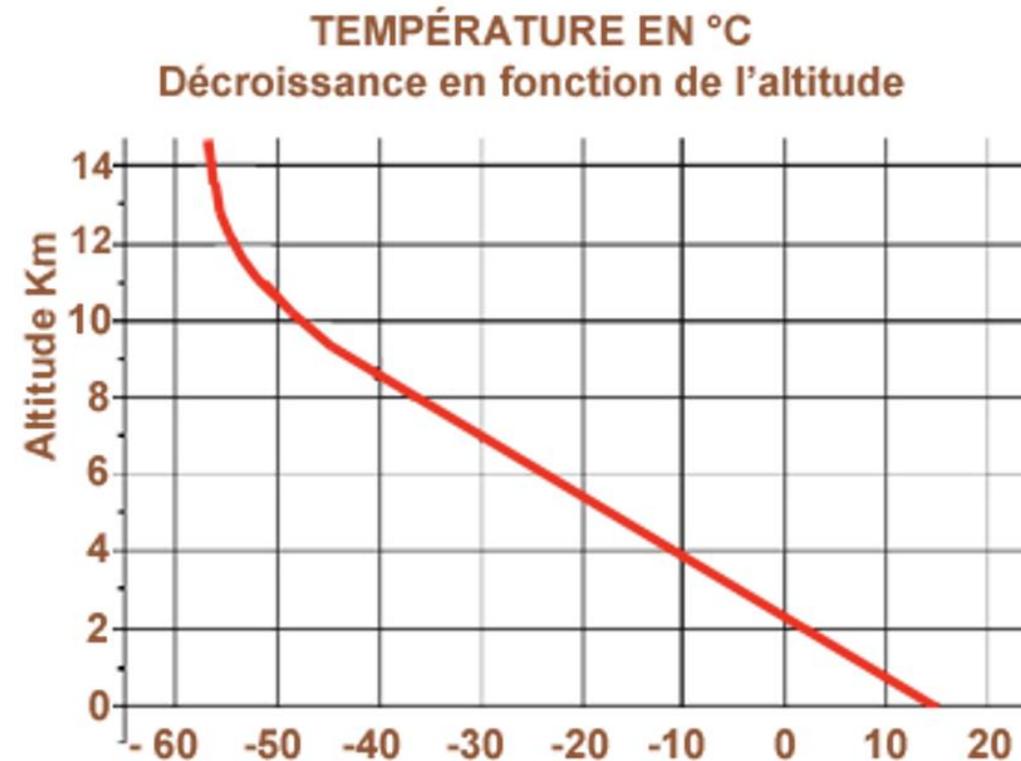
**Un composant mesurant la température extérieure est nécessaire**



# Évolution de la température dans la troposphère

- Le Mini-Bee doit pouvoir voler jusqu'à 4000m environ (comme le Robinson R22)

**Risque de gel du carburant  
très peu probable dans les  
conditions prévues  
d'utilisation**



# Sonde P... Aerasonic

- Respecte le... C16a
- Fiable jusqu'à...
- De  $-65$  à  $+70^{\circ}\text{C}$
- Angle d'attaque de  $-20$  à...
- Disponible en 12, 24, 28...
- Protection anti-giv...
- Peut être fai...
- Modèle utilisé
  - Chinook CH-
  - Eurocopter EC
  - Bell Helicopter 2...
  - Boeing Apache



Utilisé dans des systèmes trop différents du Mini Bee

# Capteur de température Kanardia

- Fil long de 1.5m
- 50€

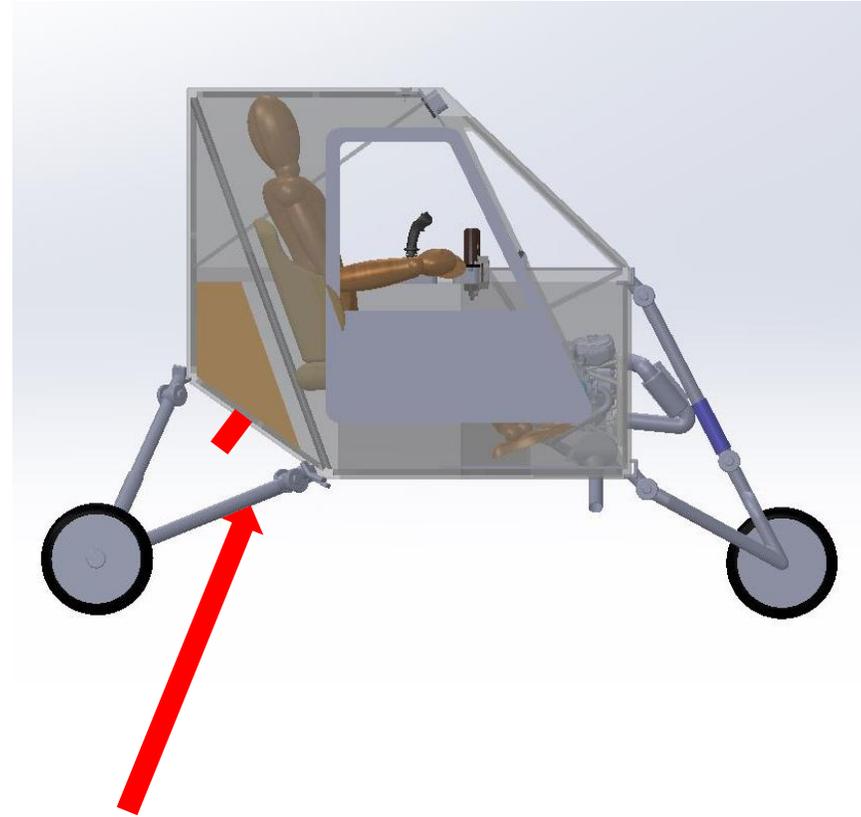
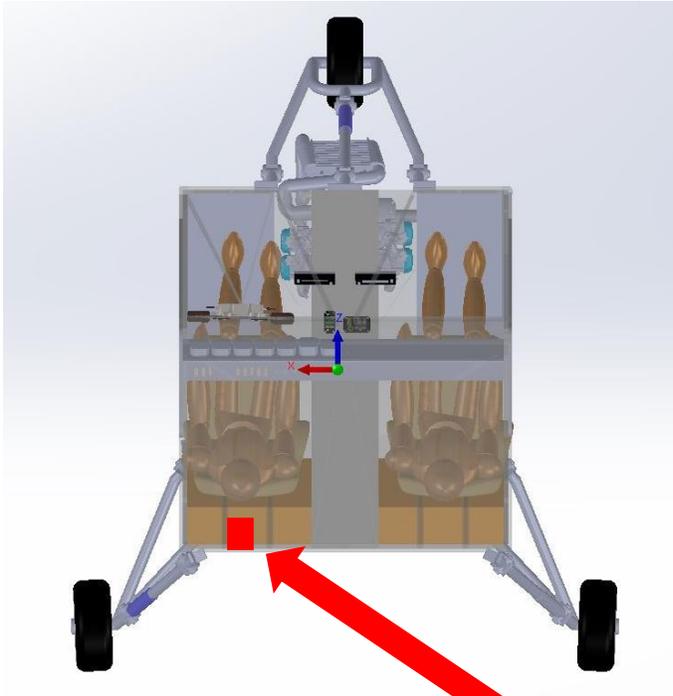


20010515 S-OAT

Outside air temperature digital sensor 1,5m.

50

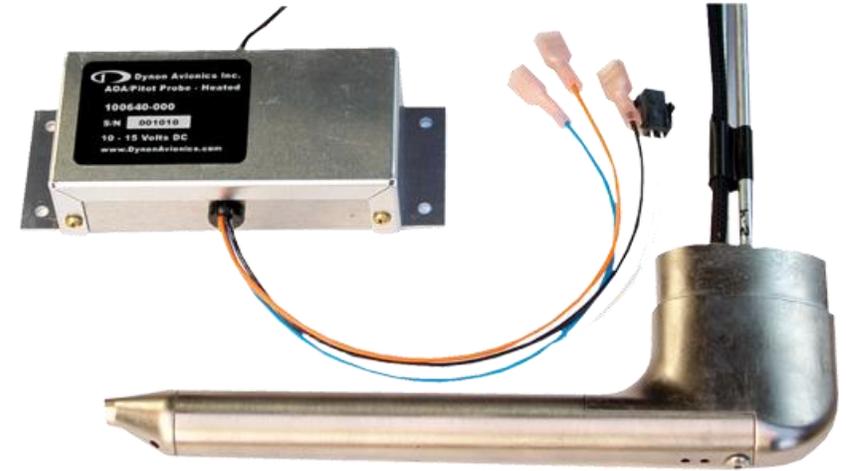
# Placement de la sonde OAT



Position suggérée par l'EASA  
Loin du moteur pour que la température ne soit pas trop perturbée

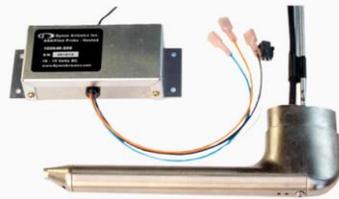
# Sonde Pitot Dynon

- Chauffé
- Faible taille (8cm de long)
- Mesure l'angle d'attaque
- Mesure la vitesse par rapport à l'air
- Calibrage simple



## AOA / PITOT PROBES

Installs easily with simple plug-n-play integration with Dynon and Advanced Products.



Under-wing mount, L-shaped (requires separate mounting bracket)

The Dynon Avionics AOA/Pitot probe performs two functions: airspeed sensing and angle of attack sensing. These functions require having two pressure ports on the tip of the probe. The normal pitot pressure port is on the front face of the probe and is designed to be insensitive to angle of attack. The second pressure port is located on an angled surface just under the pitot port and is designed to be very sensitive to AOA.

The pressure from each port is delivered via separate air lines to the instrument where they are compared to previously calibrated scenarios specific to that aircraft.

Heated AOA Pitot: The heated pitot includes a nichrome heating element that is regulated by a separate pitot heater controller unit supplied with the pitot. The controller actively monitors a temperature sensor embedded within the pitot head and regulates the power to maintain a constant temperature. This not only conserves energy but additionally prolongs the life of the heater. The controller also outputs a signal that can be wired to a warning light in the cockpit to warn the pilot anytime there is a malfunction or that the pitot is turned off.

\$252.00

Unheated

100141-000

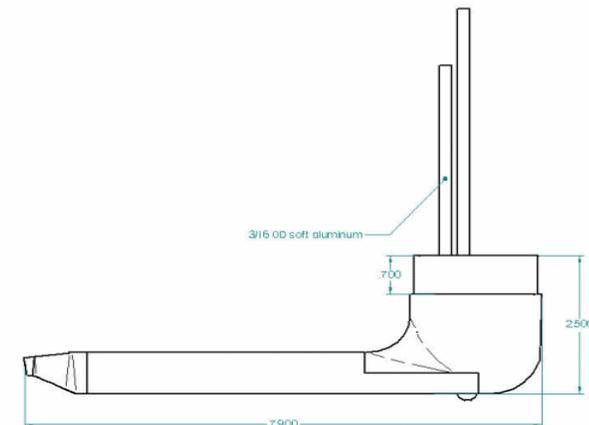
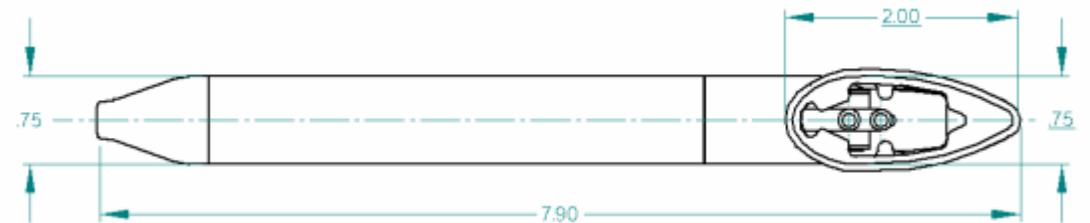
BUY NOW

\$551.00

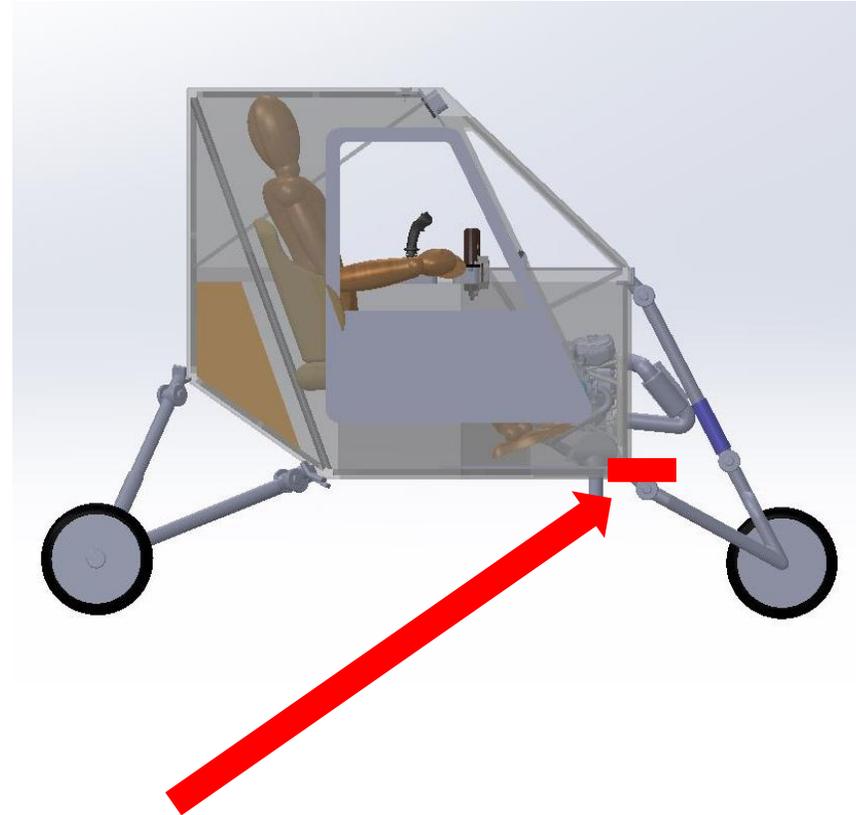
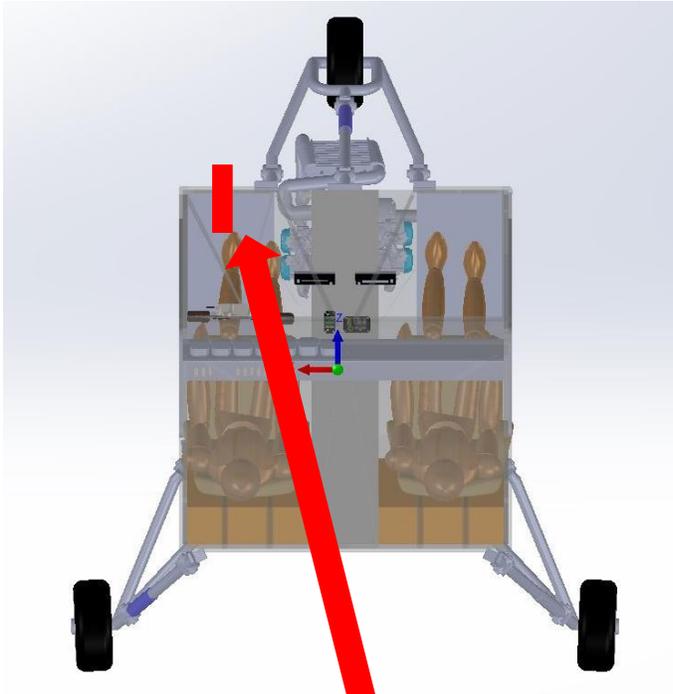
Heated w/controller

100567-000

BUY NOW



# Placement de la sonde Pitot



Sonde en avant pour éviter les perturbations du flux d'air

# Antenne GPS Kanardia

- Antenne GPS compatible avec l'emsis
- Cable de 1.2m
- 20€



## Kit Rotax Kanardia

- 4 capteurs EGT (exhaust gas temperature) 50€/unité
- Capteur de pression d'essence/huile (0 - 15 bars) 200€
- Capteur de courant +/-30A 60€
- Capteur de tr/min 70€



# Tableau récapitulatif des capteurs

Nom	Nombre	Marque	Référence	Poids total	Prix total
Sonde OAT	1	Kanardia	20010515 S-OAT	85g	50€
Sonde PITOT	1	Dynon Avionics	100667-000	330g	517€
Antenne GPS	1	Kanardia	20003814 C-GPS	80g	20€
Capteur EGT	4	Kanardia	20010492 S-ESRTX	280g	200€
Capteur de pression huile/essence	1	Kanardia	20010300 S-PR-150	65g	200€
Capteur de courant	1	Kanardia	20010218 S-CT30	47g	60€
Capteur tr/min	1	Kanardia	20002367 S-ROTOR	85g	70€

**Prix total : 917€ / Poids total : 972g**

# Redondance

- Documentation FAA (États-Unis) :

[https://www.faa.gov/aircraft/air\\_cert/airworthiness\\_certification/std\\_awcert/std\\_awcert\\_regs/regs](https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/airworthiness_certification/std_awcert/std_awcert_regs/regs)

[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC\\_450.103-1.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_450.103-1.pdf)

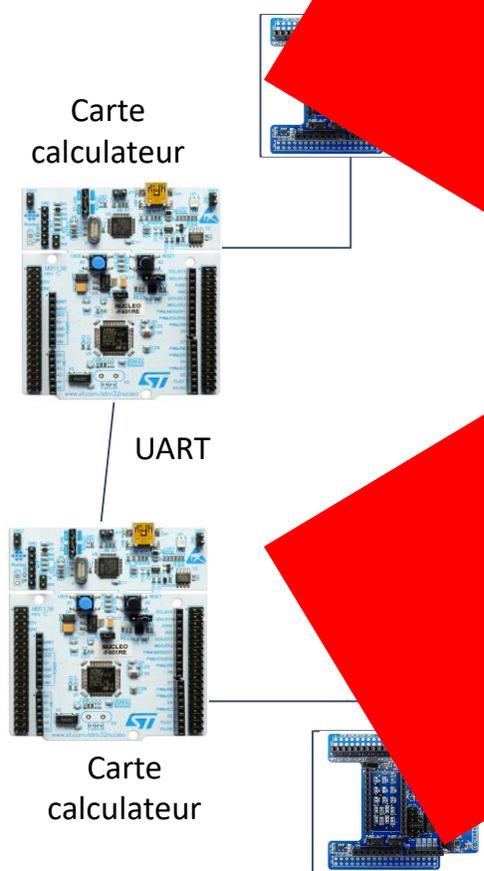
- Documentation OACI (Internationale) :

[https://www.icao.int/publications/documents/9750\\_cons\\_fr.pdf](https://www.icao.int/publications/documents/9750_cons_fr.pdf)

[https://www.icao.int/meetings/atconf6/documents/doc%209626\\_fr.pdf](https://www.icao.int/meetings/atconf6/documents/doc%209626_fr.pdf)

En cours

# Lien Capteurs – carte de contrôle



Détails pour relier les différents

ports de la STM32 avec  
[https://www.st.com/resource/en/referenc  
stm32f401xbc-and-stm32f401xde-  
mcus-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/referenc/stm32f401xbc-and-stm32f401xdev-mcus-stmicroelectronics.pdf)

Pour la redondance des capteurs aux deux cartes  
simultanément ou par capteurs en deux ?

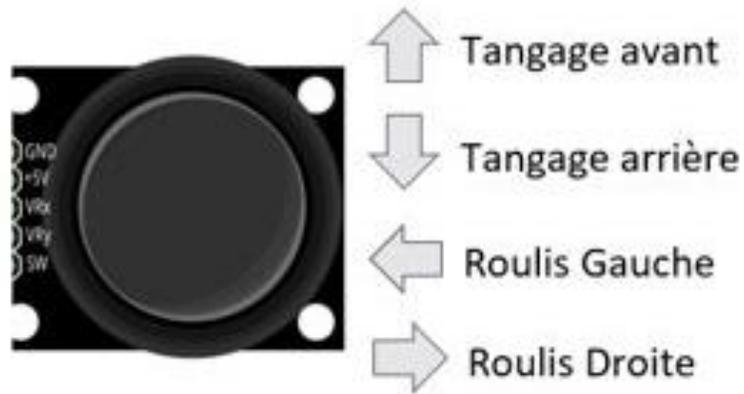
**Redondance donc pas de  
liaison entre les cartes**

# État de l'art : contrôles de pilotage

- Système de contrôle et commandes envisagées par CyTech : joystick



Joystick Joyu & boyu



Joystick



Autopilote

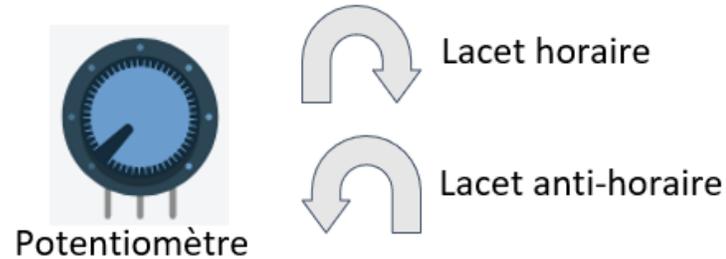
**Joystick et volant sont à garder**

# État de l'art : contrôles de pilotage

- Système de contrôle et commandes envisagées par CyTech : volant



Volant



Contrôle lacets

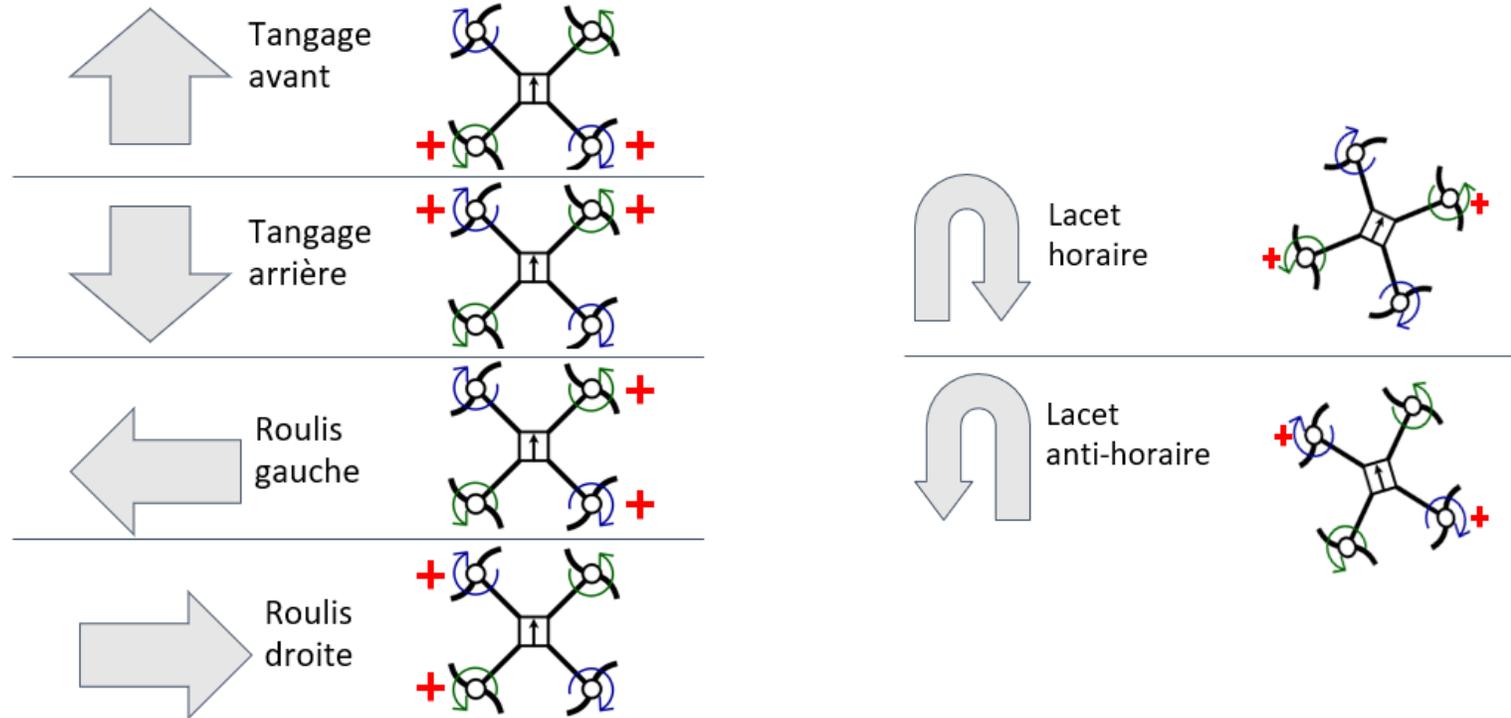


Boutons

**Joystick et volant sont à garder**

# État de l'art : contrôle de pilotage simplifié

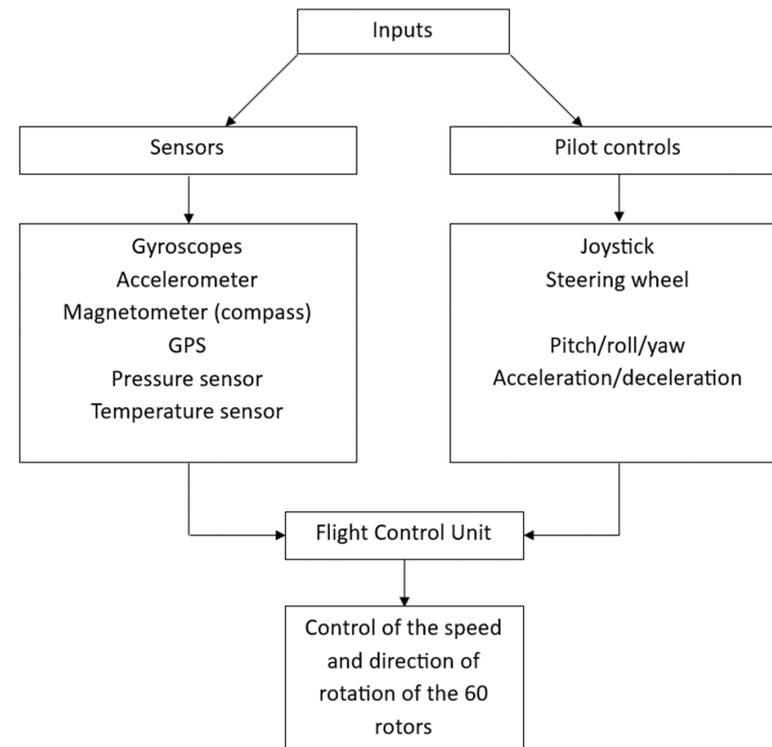
- Système de contrôle : modélisation des mouvements envisagés du Mini Bee



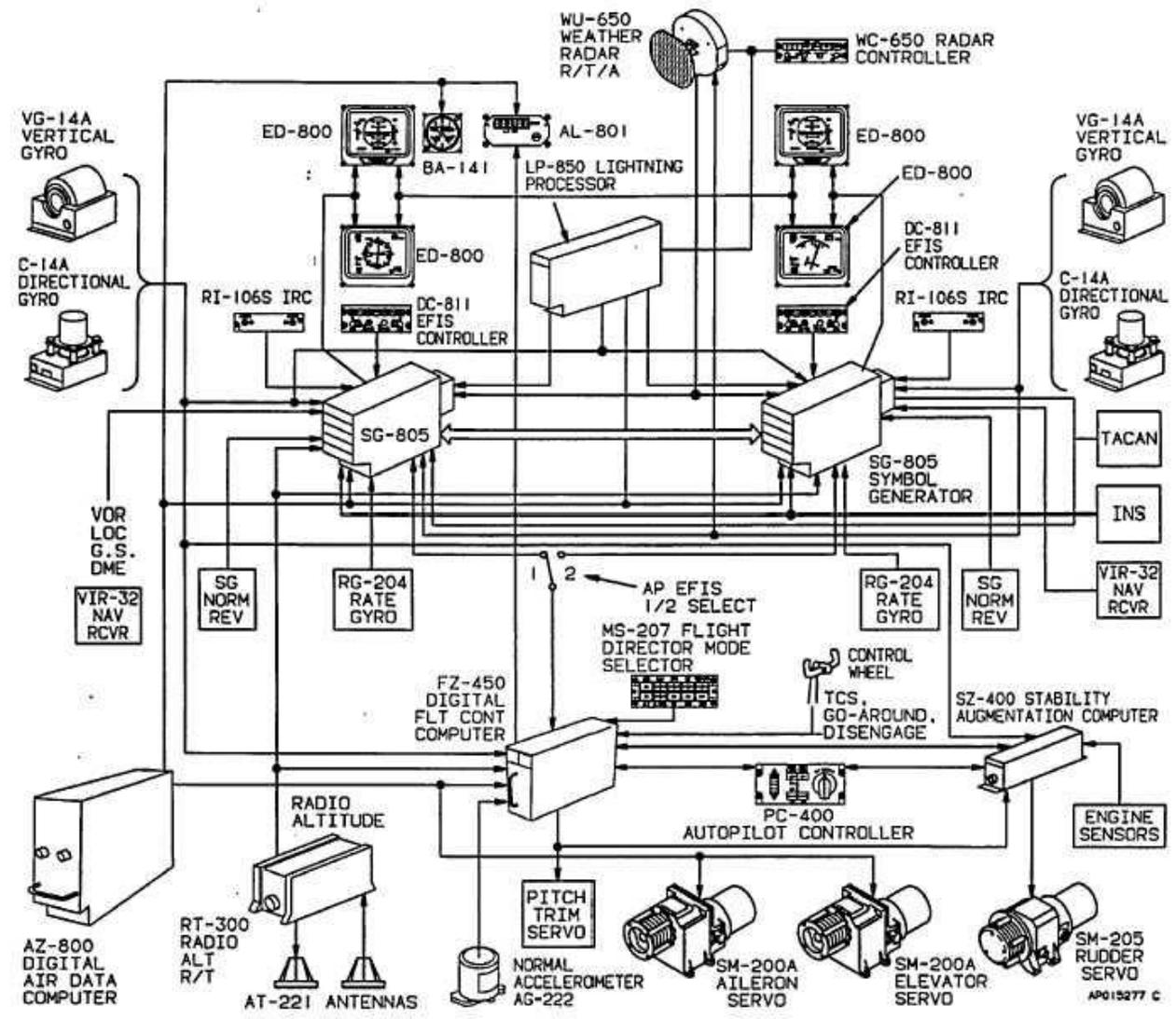
# État de l'art : Flight Control Unit (FCU)

- **Développement Prototypage** du FCU par l'équipe de l'Estaca
- **FCU** : Équivalent du système de commande de vol. Ce système inclue les commandes hydrauliques, les commandes électroniques, les gyroscopes et d'autres dispositifs qui permettent aux pilotes de contrôler l'appareil.

Diagramme explicatif réalisé par Estaca 2022/2023



# FCU

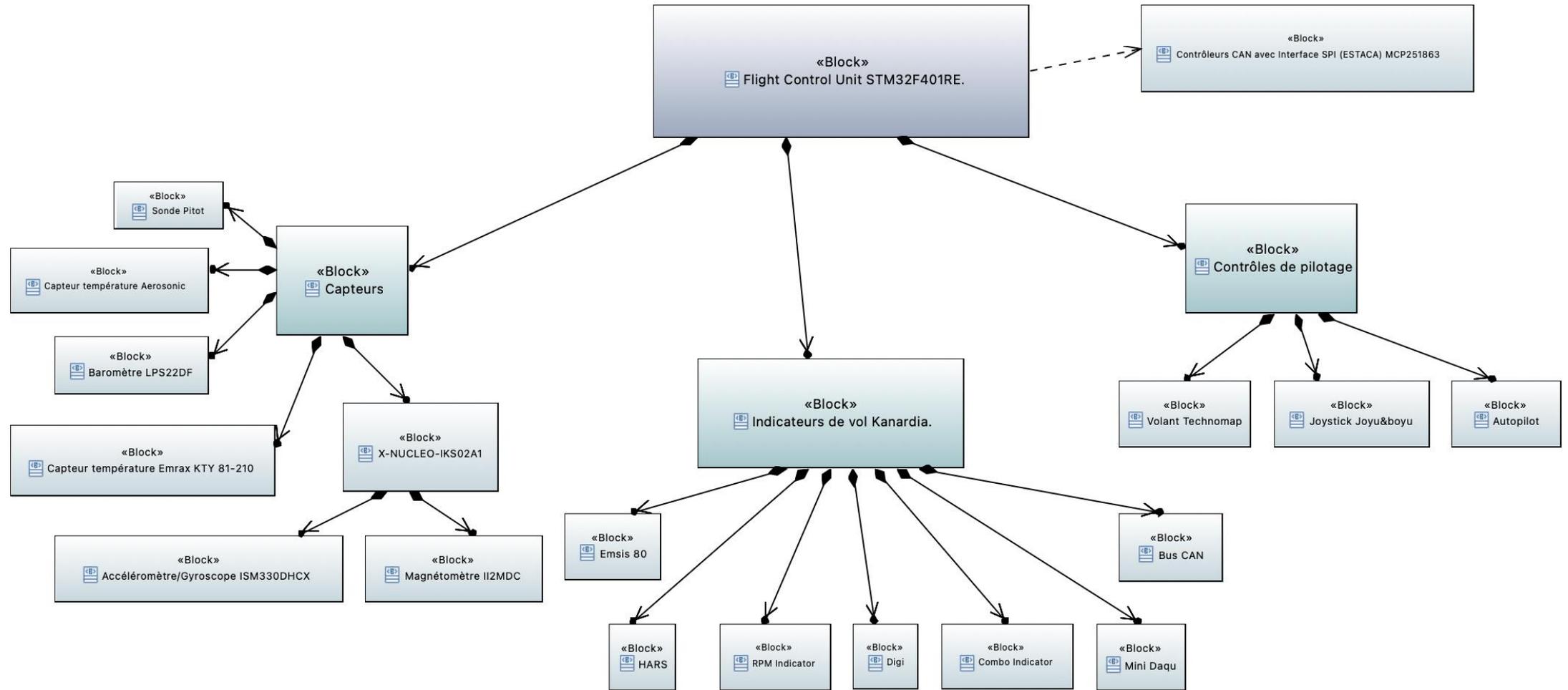


Représentation schématique d'un FCU (1/2 composants et liens qui les unissent)

# FCU

- Objectifs : Réaliser un diagramme prototype de FCU avec les éléments déjà validés pour le soumettre à l'Estaca
- Réalisation d'un diagramme de définition de bloc (bdd)
- Réalisation d'un diagramme de blocs interne (ibd)

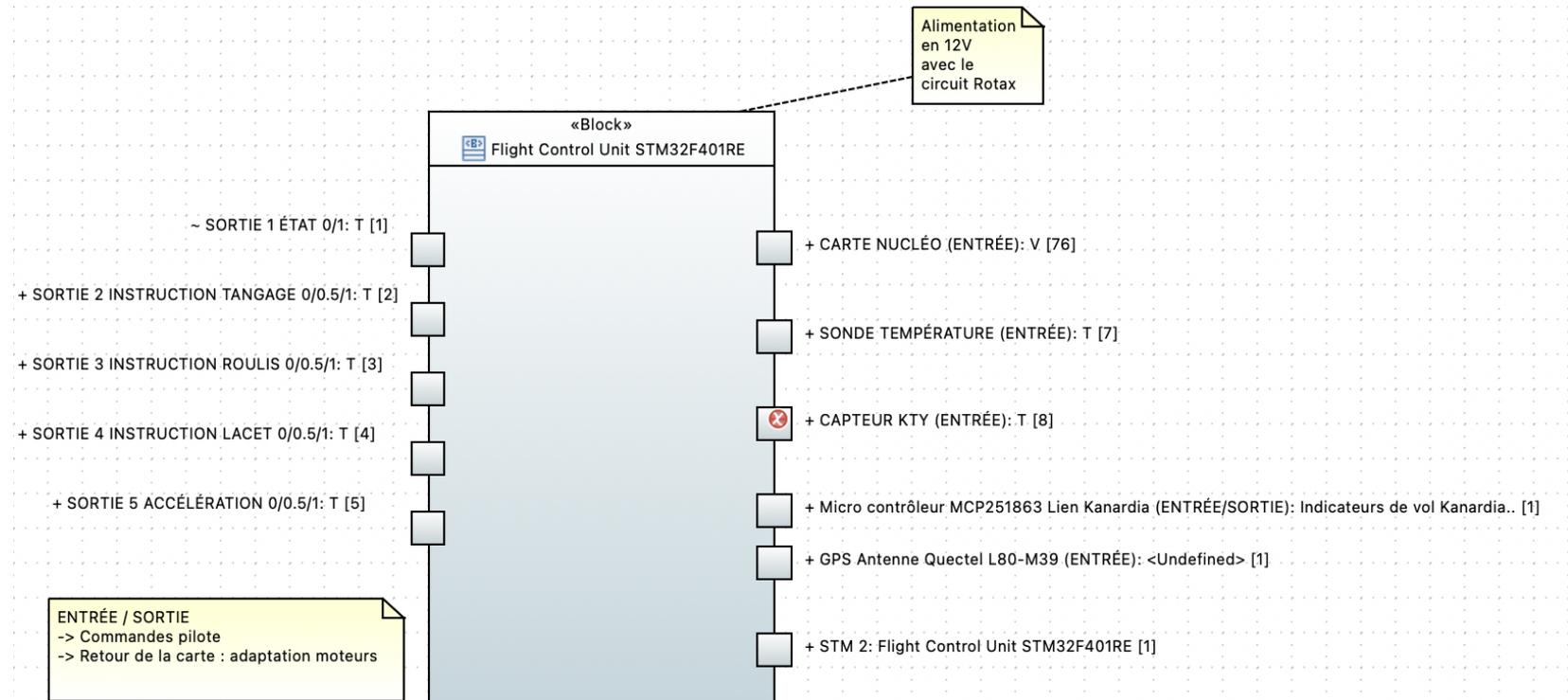
# Diagramme de définition de bloc FCU (bdd)



# Diagramme de bloc interne FCU (ibd)

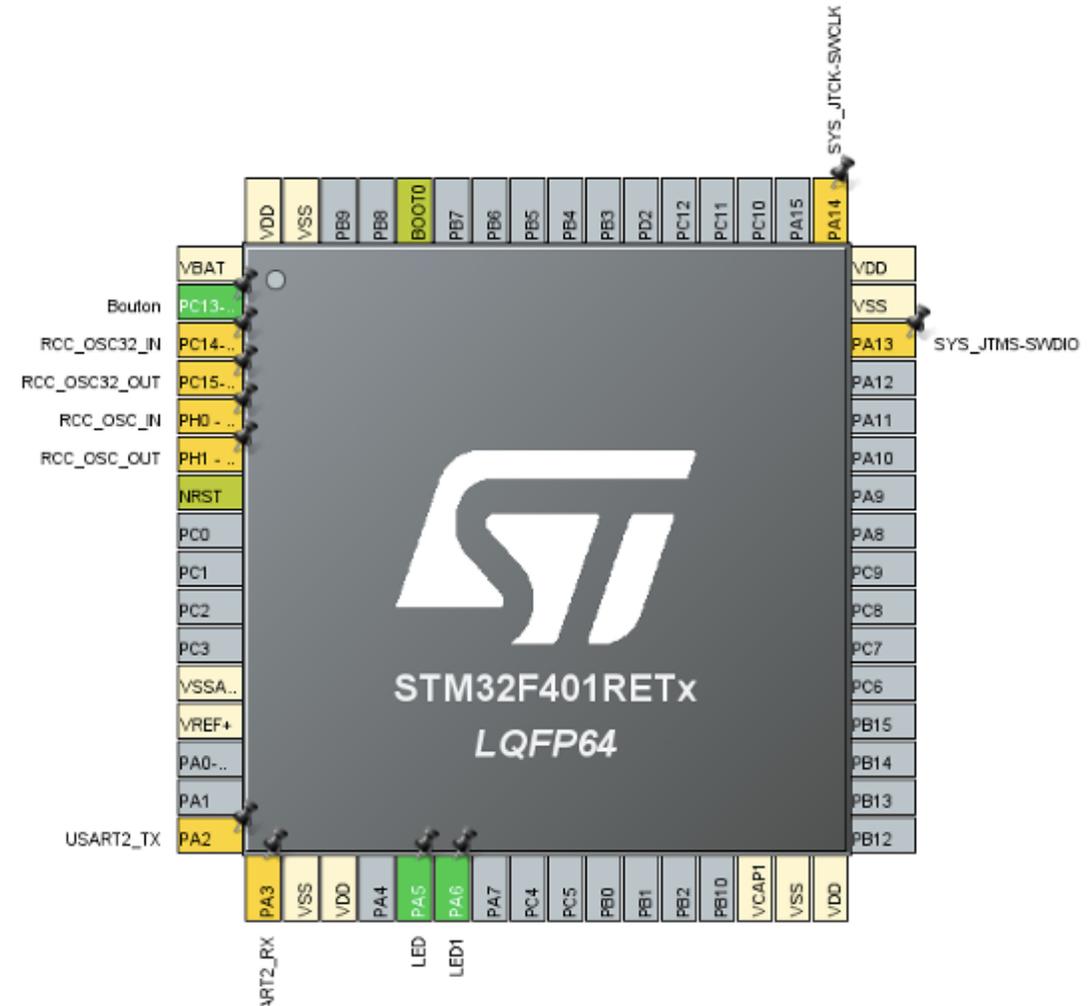
- Début de modélisation de l'ibd

- Réflexion sur les sorties de la carte STM 32 et gestion des pins
- Réflexion sur les entrées et sorties de chaque composant (capteur, commande de vol, ...)



# Codage STM 32 : débuts de modélisation

- Réflexion sur l'initialisation des ports par l'Estaca



# Codage STM 32 : débuts de modélisation

- Code pour récupérer les données des capteurs issus de la carte Nucléo
- Exemples de code simple disponible en ligne

cparata Merge pull request #7 from cparata/main a5155	
examples	Adjust a comment
src	First official release for X-NUCLEO-IKS02A1
LICENSE	Initial commit
README.md	Add ISM330DHCX FIFO example
library.properties	Add ISM330DHCX FIFO example

- **Objectif : Tester ces exemples sur carte**

## Examples

There are several examples with the X-NUCLEO-IKS02A1 library.

- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_HelloWorld: This application provides a simple example of usage of the X-NUCLEO-IKS02A1 Expansion Board. It shows how to display on a hyperterminal the values of all on-board MEMS inertial sensors.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_IIS2DLPC\_6DOrientation: This application shows how to use X-NUCLEO-IKS02A1 IIS2DLPC accelerometer to find out the 6D orientation and display data on a hyperterminal.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_IIS2DLPC\_WakeUp: This application shows how to detect the wake-up event using the X-NUCLEO-IKS02A1 IIS2DLPC accelerometer.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_IIS2DLPC\_FreeFallDetection: This application shows how to detect the free fall event using the X-NUCLEO-IKS02A1 IIS2DLPC accelerometer.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_IIS2DLPC\_SingleTap: This application shows how to detect the single tap event using the X-NUCLEO-IKS02A1 IIS2DLPC accelerometer.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_IIS2DLPC\_DoubleTap: This application shows how to detect the double tap event using the X-NUCLEO-IKS02A1 IIS2DLPC accelerometer.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_ISM330DHCX\_6DOrientation: This application shows how to use X-NUCLEO-IKS02A1 ISM330DHCX accelerometer to find out the 6D orientation and display data on a hyperterminal.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_ISM330DHCX\_WakeUpDetection: This application shows how to detect the wake-up event using the X-NUCLEO-IKS02A1 ISM330DHCX accelerometer.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_ISM330DHCX\_FreeFallDetection: This application shows how to detect the free fall event using the X-NUCLEO-IKS02A1 ISM330DHCX accelerometer.
- X\_NUCLEO\_IKS02A1\_ISM330DHCX\_SingleTap: This application shows how to detect the single tap event using the X-NUCLEO-IKS02A1 ISM330DHCX accelerometer.

# Contrôle de pilotage

- Utilisation de système Garmin



Indicateurs digitaux  
G1000H NXi Integrated Flight Deck  
60 000€

Certifié TSO



GI 275  
4000€

Trop cher

# Contrôle de pilotage

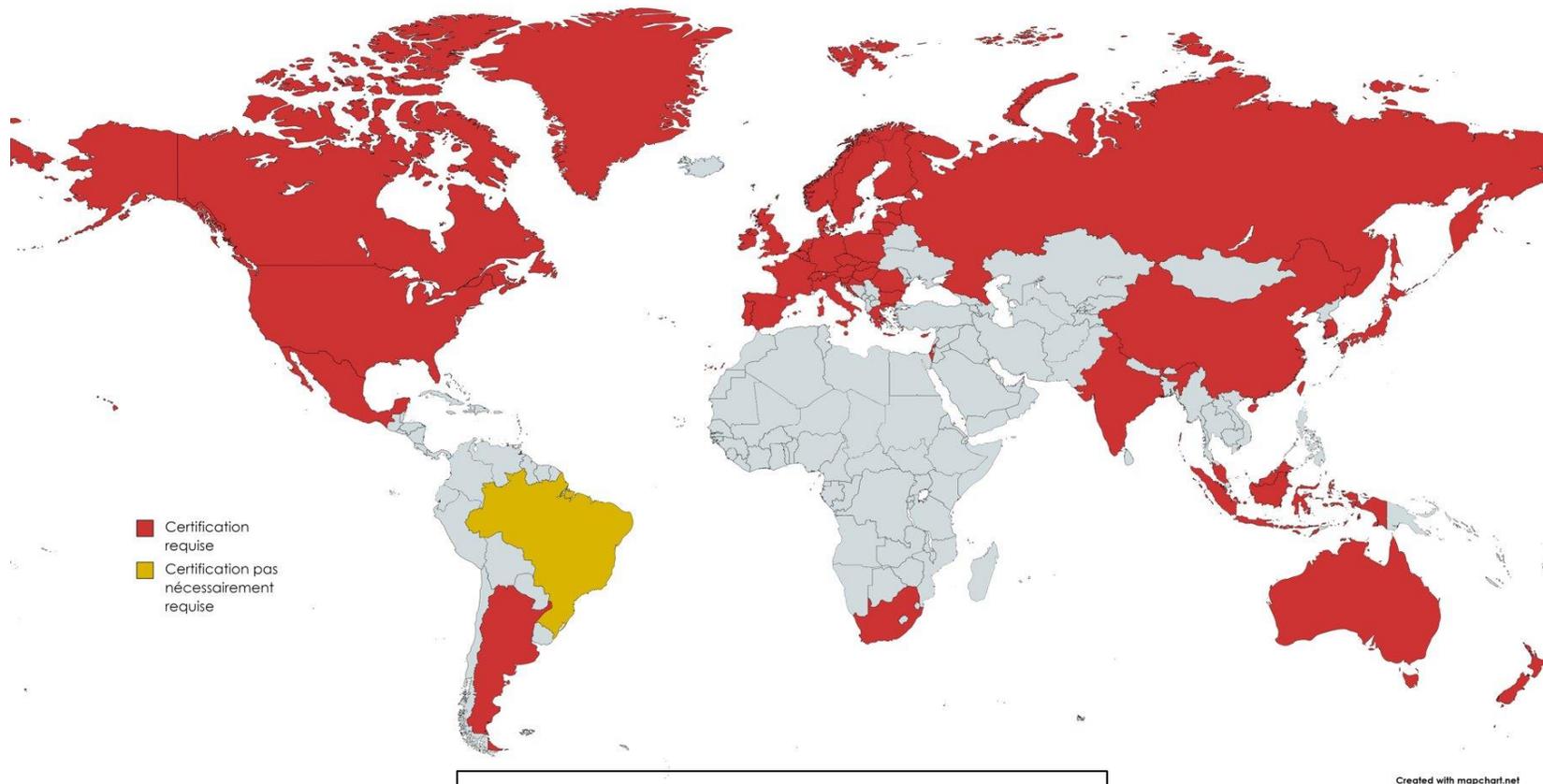
- Utilisation de système Kanardia

Capteur					
<u>Nom</u>	<u>Mini Daqu</u> Acquisition de données Compatible Rota x 915is	<u>Emsis 80 + HARS</u> Indique les différentes informations de l'appareil et du moteur et la position de l'appareil	<u>Digi</u> Indique les différentes informations de l'appareil et du moteur	<u>RPM indicator</u> Indique le nombre de tours moteur	<u>Combo Indicator</u> Indique la vitesse par rapport à l'air, la vitesse verticale, et l'altitude
<u>Prix</u>	480€	1250€	550€	350€	350€

**Equipement pour l'information système : 4765€**

**Pas certifié TSO**

# Carte obligation norme TSO ou équivalent



**Équipement aux normes  
requis par la majorité  
des pays du monde**

# Contrôle de pilotage

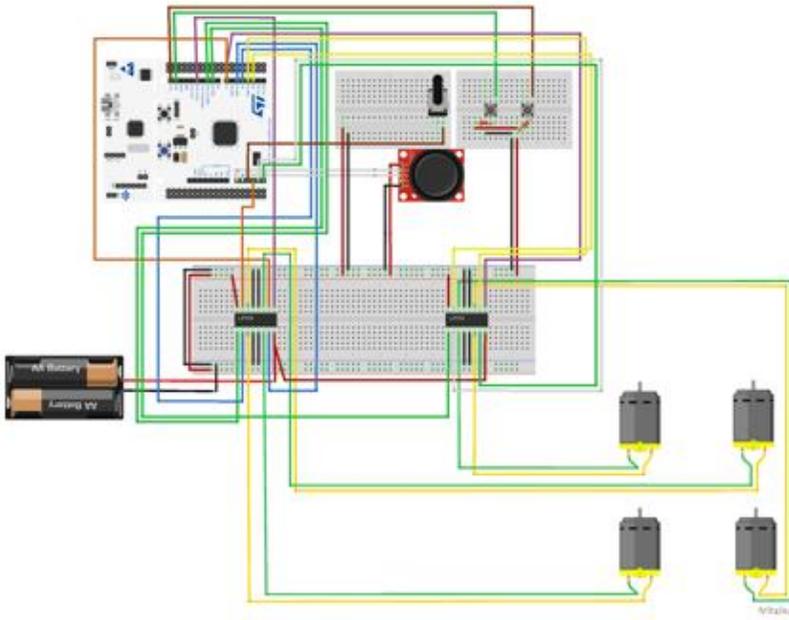
## Estimation du prix de la certification

Nom	Type Certificate Small VTOL	Type Certificate Propeller -5700kg	Type Certificate pièces 2000€-2000€	Type Certificate pieces -2000€	Certification Support for Validation	Design Organisation Approval : Approval fee	Design organisation : approval fee
Prix(€)	23850	12610	5320	3090	250	~10000	~5000
Nombre	1	1	1	39	1	1	1

**Total : ~ 177 540€  
+ 250€ par heure de certification**

# Contrôle des moteurs

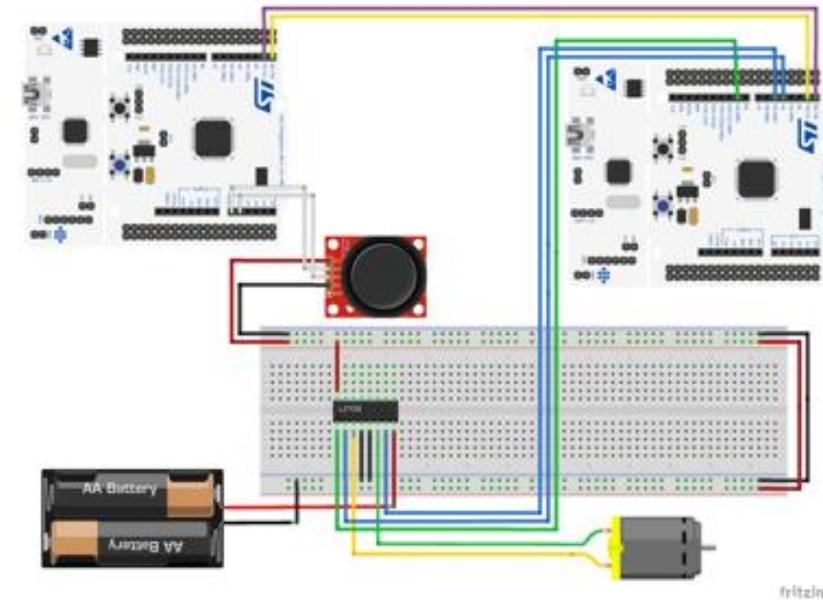
- Essais réalisés par CyTech



Contrôle de 4 moteurs avec une carte

carte calculateur

carte contrôle



Contrôle moteur avec plusieurs cartes

**Les moteurs tournent et  
sont contrôlables**

=> Tests avec contrôleurs de puissance  
**Flame 100 A HV**